

HELSINGIN YLIOPISTO

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

Elintarvike- ja ravitsemustieteiden osasto

EKT-sarja 1939

**VALON VAIKUTUS RUCOLAN LAATUUN JA
TOKOFEROLEIHIN VARASTOINNIN AIKANA**

Sonja Salonen

Helsinki 2020



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Elintarviketieteiden maisteriohjelmalla
Tekijä – Författare – Author Sonja Salonen		
Työn nimi – Arbetets titel – Title Valon vaikutus rucolan laatuun ja tokoferoleihin varastoinnin aikana		
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Yleinen elintarviketeknologia		
Työn laji – Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika – Datum – Month and year Toukokuu 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 55
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Lehtivihannekset ovat nopeasti pilaantuvia elintarvikkeita, jotka säilytetään yleensä kirkkaassa valaistuksessa ja läpinäkyvissä pakkauksissa. Ne sisältävät paljon bioaktiivisia komponentteja, joiden säilymiseen valaistus vaikuttaa. Lehtivihanneksiin kuuluva rucola sisältää paljon E-vitamiinia, C-vitamiinia ja folaattia, eikä sitä ole tutkittu paljoa. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten valaistus vaikuttaa rucolan tokoferoleihin ja laatuun säilytyksen aikana. Valaistuksen lisäksi tutkittiin erilaisten pakkausmateriaalien laadun, valonläpäisevyyksien ja perforointien vaikutusta rucolan tokoferoleihin ja aistinvaraisen laadun säilymiseen. Tutkimuksen hypoteesina oli, että valaistuksessa säilytettäessä näytteiden pilaantuminen on nopeampaa kuin pimeässä ja että perforoiduissa pusseissa näytteiden laadun säilyminen on heikointa.</p> <p>Rucolanäytteet varastoitiin kolmessa erilaisessa valaistusolosuhteessa, joita olivat jatkuva pimeys, jatkuva loisteputkivalo ($65 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) ja jatkuva LED-valo ($125 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$). Rucola pakattiin viiteen ominaisuuksiltaan erilaiseen pakkausmuoviin (OPP 20, OPP 20-30-35, PET12-PE40, OPP20-CPP30, PET30-PE40), joista kaikista oli perforoitu ja perforoimaton versio. Viikon kestävä säilytystesti suoritettiin olosuhdekaapissa (lämpötila 5°C, ilmankosteus 40–50 %), ja mittaukset suoritettiin päivinä 1, 5 ja 7. Rucolan tokoferolipitoisuus analysoitiin myöhemmin pakkaskuivatuista 7. päivän näytteistä HPLC-menetelmällä.</p> <p>Valaistus heikensi pakatun rucolan väriä ja aistinvaraista laatua verrattuna pimeään, eli hypoteesi toteutui tältä osin, mutta pilaantuminen ei ollut perforoiduissa materiaaleissa huomattavasti nopeampaa. Valaistus vaikutti fotosynteesin ja hengityksen kautta pussien kaasukoostumukseen, sillä valaistuksessa happi- ja hiilidioksidipitoisuudet pysyivät muuttumattomina, kun taas pimeässä happipitoisuus laski ja hiilidioksidipitoisuus nousi säilytyksen myötä. Pimeässä pusseihin muodostui lehtivihanneksien pakkaamiseen sopiva kaasukoostumus. Rucolan laatu säilyi parhaiten pimeässä, sillä LED- ja loisteputkivalossa näytteet vaalentuivat ja kellertyivät nopeammin ja olivat rakenteeltaan huonompia. Pimeässä säilytettäessä rucolan alfatokoferolipitoisuudet olivat suurempia perforoimattomiin kuin perforoituihin materiaaleihin pakatuissa näytteissä, kun taas valaistuksessa rucolan alfatokoferolipitoisuudet olivat puolestaan suurempia perforoituihin materiaaleihin pakatuissa näytteissä. Valoa läpäisemättömät materiaalit (OPP20-CPP30 ja PET30-PE40) säilyttivät rucolan aistinvaraisen laadun läpinäkyviä materiaaleja paremmin.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Lehtivihannes, rucola, alfatokoferoli, E-vitamiini, valaistus, LED-valo, loistevalo		
Ohjaaja tai ohjaajat –Handledare – Supervisor or supervisors Hanna Koivula, Susanna Kariluoto		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto, Helda		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information EKT-sarja 1939		

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Master's programme in Food Sciences	
Tekijä – Författare – Author Sonja Salonen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Effect of light on the quality and tocopheroles of rocket during storage			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Food Technology			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's Thesis		Aika – Datum – Month and year May 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 55
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Leafy vegetables are quickly perishable foods that are usually stored in bright lighting and transparent packaging. They contain a lot of bioactive components, which are easily destructed by lighting. Rocket (arugula) contains a lot of vitamin E, vitamin C and folate and there are not many studies about rocket. The aim of this study was to investigate how lighting affects the vitamins and quality of rocket during storage. In addition to lighting, the effect of different packaging materials, their light transmittances and their perforations to rocket's sensory quality and tocopherols contents were studied. The hypothesis of the study was that when stored under lighting, the spoilage of samples is faster than when stored in dark and that perforated bags have the weakest preservation of sample quality and vitamins.</p> <p>Rocket samples were stored under three different lighting conditions which were continuous darkness, continuous fluorescent light ($65 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) and continuous LED light ($125 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$). The rocket was packaged in five different plastics (OP20, OP20-30-35, PET12-PE40, OPP20-CP30, PET30-PE40) and there were perforated and non-perforated versions of them. A week-long storage test was carried out in a chamber with constant conditions (5°C, RH 40–50 %) and measurements were performed on days 1, 5 and 7. The tocopherol content of rocket was analyzed from lyophilized day 7 samples later by HPLC.</p> <p>The results of this study imply that lighting reduces the color and sensory quality of the packaged rocket, so the hypothesis was partly fulfilled. However, the spoilage was not significantly faster in the perforated materials. Lighting affected the gas composition of the bags through photosynthesis and respiration, as the oxygen and carbon dioxide concentrations remained unchanged, while in the dark the oxygen content decreased, and the carbon dioxide content increased. The quality of the rocket was best preserved in dark, as in LED and fluorescent light the samples lightened and yellowed faster and the structure of the samples deteriorated. When stored in dark, non-perforated materials retained the alpha-tocopherol content of the rocket better than the perforated materials. Conversely, when stored in light, rocket packed in perforated materials had higher alpha-tocopherol contents than the those packed in non-perforated materials. The maximum differences in alpha-tocopherol contents between the rocket samples in different lighting conditions were $180 \mu\text{g/g}$ for the samples in non-perforated materials and $50 \mu\text{g/g}$ for the samples in perforated materials. The opaque materials (OPP20-CPP30 and PET30-PE40) retained the sensory quality of the rocket better than the transparent ones. There were no significant differences in alpha-tocopherol contents between the samples in different materials.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Leafy vegetable, rocket, arugula, alpha-tocopherol, vitamin E, light, LED, fluorescent light			
Ohjaaja tai ohjaajat –Handledare – Supervisor or supervisors Hanna Koivula, Susanna Kariluoto			
Säilytyspaikka – Förläringställe – Where deposited Digital Repository of the University of Helsinki, Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information EKT-sarja 1939			

ESIPUHE

Tämä maisterintutkielma suoritettiin osana elintarvike- ja ravitsemustieteiden osaston pakkausteknologian ja vitamiinianalytiikan tutkimuksia yhteistyössä Salico Oy:n ja Amerplast Oy:n kanssa. Ohjaajina toimivat yliopistonlehtorit Hanna Koivula ja Susanna Kariluoto.

Lämpimät kiitokset ohjaajilleni Hanna Koivulalle ja Susanna Kariluodolle asiantuntevasta ja kannustavasta ohjauksesta. Haluan kiittää myös yliopistonlehtori Anna-Maija Lampea ja tutkimusavustaja Salla Vitikaista avusta tokoferolimäärittelyksissä sekä yliopiston teknisiä avustajia käytännön työn helpottamisesta. Kiitän myös Salico Oy:tä rucolan sujuvasta toimituksesta ja Amerplast Oy:tä pakkausmateriaaleista. Kiitokset läheisilleni tuesta ja kannustuksesta.

Helsingissä toukokuussa 2020

Sonja Salonen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ESIPUHE

1	JOHDANTO	8
2	KOKEELLINEN TUTKIMUS	12
2.1	Tausta	12
2.2	Materiaalit ja menetelmät	12
2.2.1	Tutkimuksen muuttujat	12
2.2.2	Esikokeet	13
2.2.3	Rucolan säilyvyystesti	16
2.2.4	Laadun mittaukset	19
2.2.5	Tokoferolimääritys	20
2.2.6	Tulosten analysointimenetelmät	21
2.3	Tulokset	22
2.3.1	Painohäviö	22
2.3.2	Muutokset värissä ja ulkonäössä	23
2.3.3	Kaasukoostumuksen muutokset	28
2.3.4	Tokolien mittaustulokset	32
2.4	Pohdinta	34
2.4.1	Valaistuksen vaikutus	34
2.4.2	Materiaalin vaikutus	38
2.4.3	Tutkimustulosten luotettavuuden arviointi	42
3	PÄÄTELMÄT	45
	LÄHDELUETTELO	47
	LIITTEET	

Liite 1. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin yhdysvaikutuksen p-arvot näytteiden painon muutoksissa materiaalien välillä kaikissa valaistuksissa perforoiduissa ja perforoimattomissa materiaaleissa.

Liite 2. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden seitsemännen mittauspäivän värierojen (ΔE) yhdensuuntaisen varianssianalyysin tulokset valaistusten välillä.

Liite 3. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden seitsemännen mittauspäivän värierojen (ΔE) yhdensuuntaisen varianssianalyysin tulokset materiaalien välillä.

Liite 4. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden seitsemännen mittauspäivän värierojen (ΔE) kaksisuuntaisen varianssianalyysin tulokset, materiaalin ja valaistuksen yhdysvaikutus.

Liite 5. Perforoiduissa ja perforoimattomissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuuden merkitsevät erot valaistusten välillä.

Liite 6. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden kaksisuuntaisen varianssianalyysin yhdysvaikutuksen p-arvot valaistuksien ja materiaalien välillä.

Liite 7. Näytteiden (päivä 7) analysoidut alfatokoferolipitoisuudet ($\mu\text{m/g}$) kuivapainoa kohden.

Tutkimuksessa käytetyt lyhenteet:

AF: antifog eli huurteenestosuoja

aw: water activity eli veden aktiivisuus

KP: kuivapaino

TP: tuorepaino

HPLC: high performance liquid chromatography eli suuren erotuskyvyn nestekromatografia

Pakkausmateriaalien lyhenteet:

OP20: OPP 20 - orientoitu polypropeeni

OP233: OPP 20-30-35 AF - orientoitu polypropeeni

PET14: PET12-PE40 AF laminaatti - polyeteeni ja polyeteenitereftaatti

OP2CP3: OPP20-CPP30 AF laminaatti - orientoitu polypropeeni

PET-PE: PET30-PE40 (musta) laminaatti - polyeteeni ja polyeteenitereftaatti

Rei: Reikä, perforoitu materiaali

Eirei: Ei reikää, perforoimaton materiaali

1 JOHDANTO

Valo toimii kasveille energianlähteenä ja säätelee niiden kasvua. Valo on elektromagneettista säteilyä, jota voidaan kuvata aallonpituuksilla tai energiakvantteina. Näkyvän valon aallonpituudet ovat välillä 380–780 nm ja nämä aallonpituudet taittuvat eri tavalla, joten silmä erottaa ne eri väreinä. UV-valon aallonpituus on näkyvää valoa lyhytaaltoisempaa, n. 100–380 nm ja infrapunasäteily pitkäaaltoisempaa, n. 780–1000 nm. Valokvantit voivat elintarvikkeeseen absorboituessaan saada siinä aikaan kemiallisia muutoksia. Näitä valon aiheuttamia laatumuutoksia elintarvikkeissa ovat esim. vitamiinitappiot, haju- tai makuhaitat, muutokset värissä tai ulkonäössä ja rasvojen hapettuminen (Kuusipalo ym. 2007, Lester ym. 2010). Valonlähteen spektrinen jakautuma, valon intensiteetti, valonlähteen etäisyys, valaistuksen kesto sekä tuotteen kosteus- ja happipitoisuus vaikuttavat kaikki siihen, kuinka paljon valo saa aikaan muutoksia elintarvikkeessa (Lennersten 1995, Kuusipalo ym. 2007). Erilaiset valonlähteet tuottavat valoa eri tavalla, joten myös niiden vaikutukset elintarvikkeisiin voivat olla erilaisia. Loisteputken valo syntyy sähköpurkauksissa, joiden tuottama UV-valo muuttuu näkyväksi valoksi fluoresoivan materiaalin avulla, jolla loisteputki on päällystetty (Welch ym. 1997). Suositut LED-valot (engl. Light Emitting Diode) ovat pitkäikäisiä ja tehokkaita, ja ne tuottavat loisteputkia vähemmän lämpöä (Siikanen ym. 2012).

Vihannekset ovat herkkiä mikrobiologiselle pilaantumiselle, koska niissä on paljon vettä ja ravintoaineita sekä neutraali pH (Sumner ja Peters, 1997). Lehtivihanneksia ei yleensä käsitellä lainkaan ennen pakkaamista, joten ne eivät säily kovin pitkään sadonkorjuun jälkeen hyvinä. Lehtivihannekset ovat erityisen herkkiä valaistukselle, koska ne sisältävät herkistimenä toimivaa klorofylliä. *Brassica*-sukuun kuuluvien vihanneksien, kuten parsakaalin, kaalin ja lehtikaalin, säilymistä on tutkittu paljon, mutta samaan ristikkukkaiskasvien (*Brassicaceae*) heimoon kuuluvasta rucolasta on vähemmän tutkimuksia, vaikka sitä hyödynnetään maailman laajuisesti ja sen käyttö yleistyy koko ajan myös Suomessa. Rucola on yleisnimitys, jolla tarkoitetaan ristikkukkaiskasvien heimoon kuuluvien *Eruca*- ja *Diplotaxis*-sukujen lajeja (Martinez-Sanchez ym. 2007). Lehtivihanneksiin kuuluvaa rucolaa käytetään yrtti- ja salaattivihanneksena, ja se on maultaan pistävä ja hieman sinappimainen, minkä takia sen toinen suomenkielinen nimitys on sinappikaali. Rucolaa säilytetään jääkaapissa, jolloin säilyvyysaika on reilun viikon (Nielsen ym. 2008). Gutierrezin ym. (2015) mukaan rucola säilyttää parhaiten laatunsa ja bioaktiiviset yhdisteensä n. 5 °C:ssa ja enintään 8 päivän ajan. Rucola on erityisen altis

mikrobien hyökkäyksille, koska se voi helposti kontaminoitua kasvun aikana syötävien osien kasvaessa matalalla ja osuessa maahan. Mikäli mikrobit löytävät tiensä rucolan pinnalle, on niitä hankala poistaa, sillä ne tunkeutuvat syvälle lehtien ilmarakoihin (Nielsen ym. 2008).

Vitamiineja tarvitaan ihmisten elintoimintojen ylläpitoon, eikä keho kykene muodostamaan kaikkia niitä, joten niitä tulisi saada tarpeeksi ruokavaliosta. Tämän takia on tärkeää tutkia elintarvikkeiden vitamiinien määrään vaikuttavia tekijöitä. Rucola sisältää paljon C-vitamiinia, E-vitamiinia ja folaattia, jota varsinkin nuoret saavat Suomessa liian vähän (Valtion ravitsemusneuvottelukunta 2014). Tokolit eli tokoferolit ja tokotrienolit ovat rasvaliukoisia, bioaktiivisia, antioksidantteina toimivia yhdisteitä. Alfatokoferoli on E-vitamiinin aktiivinen muoto, joten se on tokoleista ihmiselimistölle tärkein. E-vitamiini on yhdistetty sydän- ja verisuonisairauksien aiheuttamien kuolemien vähenemiseen sekä syövän ja dementian ehkäisyyn (Kushi ym 1996, Stephens ym. 1996, Nordic Council of Ministers 2012). Folaatti on yleisnimitys yhdisteiden ryhmälle, joka sisältää foolihapon ja sen johdannaiset (Nordic Council of Ministers 2012). Folaatin on havaittu ehkäisevän paksusuolen syöpää ja sydän- ja verisuonisairauksia, ja sen puutos voi aiheuttaa anemiaa tai sikiön epämuodostumia (Boddie ym. 2000).

Valaistuksen vaikutusta lehtivihannesten C-vitamiinipitoisuuksiin on tutkittu paljon (Noichinda ym. 2006, Ohashi-Kaneko ym. 2007, Samuoliene ym. 2012), mutta varsinkin rucola sisältää C-vitamiinin lisäksi paljon E-vitamiinia ja folaattia, joten valaistuksen vaikutusta myös näiden vitamiinien säilymiseen pitäisi tutkia enemmän. Tiedot eri tutkimusten välillä ovat ristiriitaisia, koska valon on havaittu sekä vähentävän että lisäävän vihannesten vitamiinipitoisuuksia. Ei myöskään ole varmaa, onko valaistuksen kestolla suurempi merkitys lehtivihannesten vitamiinipitoisuuksien säilymiseen kuin intensiteetillä (Glowacz ym. 2014). Matalan intensiteetin valon on havaittu hidastavan pinaatin, salaatin ja kiinankaalin askorbiinihappopitoisuuden laskua varastoinnin aikana (Noichinda ym. 2006, Ohashi-Kaneko ym. 2007, Toledo ym. 2012, Samuoliene ym. 2012, Zhan ym. 2012), korkean intensiteetin on havaittu vähentävän vitamiinipitoisuuksia (Glowacz ym. 2014), ja joissakin tutkimuksissa valaistuksella ja C-vitamiinipitoisuudella ei ole havaittu lainkaan yhteyttä (Martinez-Sanchez ym. 2011). Valaistuksen vaikutuksesta E-vitamiiniin ja folaattiin on saatavilla vain vähän tietoa, mutta Lester ym. (2010) havaitsivat valaistuksen edistävän näiden vitamiinien säilymistä lehtivihanneksissa varastoinnin aikana.

Valo vaikuttaa vitamiinien lisäksi lehtivihannesten aistittavaan laatuun, eli esimerkiksi väriin ja ulkonäköön. Vihreän värin on havaittu säilyvän paremmin valaistuksessa kuin pimeässä varastoitaessa (Noichinda ym. 2006, Zhan ym. 2012). Roomansalaatin ulkonäön ja värin koettiin kuitenkin pysyvän parempina, kun se säilytettiin pimeässä (Martinez-Sanchez ym. 2011), koska valaistus lisäsi soluhengitystä ja happi aiheutti klorofyllin nopeampaa hajoamista.

Valaistuksen on havaittu vaikuttavan lehtivihannesten ravitsemuksellisiin ja laadullisiin tekijöihin kasvatuksen ja sadonkorjuun aikana (Bergquist ym. 2007, Colonna ym. 2012), joten on tärkeää tutkia, vaikuttaako valaistus vielä jakeluketjun myöhemmissä vaiheissa, kuten varastoinnissa, sillä rucola on merkittävän osan ajasta kaupan vihanneshyllyssä. Lämpötiloja seurataan jo tarkasti kuljetuksen ja säilytyksen aikana, mutta myös muilla tekijöillä, kuten valolla, on havaittu olevan vaikutusta lehtivihannesten ravitsemukselliseen laatuun ja ulkonäköön (Lester ym. 2010, Zhan ym. 2012, Glowacz ym. 2014).

Pakkauksen tarkoitus on suojata elintarviketta fysikaaliselta rasitukselta kuten iskuilta, kemialliselta rasitukselta, kuten valolta ja hapelta, sekä biologiselta rasitukselta eli mikrobeilta (Leppänen-Turkula ym. 2007). Tuoreita hedelmiä ja kasviksia ei kuitenkaan tule pakata täysin hapettomiin olosuhteisiin, koska niiden soluhengitys jatkuu vielä. Jos soluhengitys ei pääse lainkaan jatkumaan, tuote pilaantuu nopeasti. Usein säilyvyys on vihanneksillakin parempi, jos pakkauksen happitasoa lasketaan normaalia hieman alemmalle tasolle, sillä parasta on pitää soluhengitys niin vähäisenä kuin mahdollista, kuitenkin tappamatta solua (Ahvenainen-Rantala 2007). Pakkauksen happitasoon voidaan vaikuttaa perforoinnilla. Siinä kalvoon tehdään pieniä reikiä, jotka kontrolloivat kaasujen vaihtuvuutta. Rucolan pakkaus on usein valon läpäisevää muovia, minkä takia valo pääsee vaikuttamaan rucolan vitamiineihin ja laatuun. Pakkausmateriaali tulisi valita niin, ettei se päästä läpi tuotteelle haitallisen aallonpituuden valoa. Erityisesti UVB-valo on haitaksi vihanneksille, joten on kehitelty pakkausmateriaaleja, joissa on UV-suoja, koska markkinointisyyistä vihannekset ja kasvikset täytyy kaupassa pitää esillä voimakkaassa valaistuksessa (Galgado ym. 2017).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten valaistus vaikuttaa pakatun rucolan tokoferolipitoisuuksiin ja aistinvaraiseen laatuun säilytyksen aikana ja mikä käytetyistä materiaaleista säilyttää sen aistinvaraisen arvon parhaiten. Myös folaattia oli tarkoitus tutkia, mutta kevään poikkeusolosuhteiden takia folaattia ei ehditty analysoidaan. Valaistuksen lisäksi tutkittiin pakkausmateriaalien valonläpäisevyyden ja perforoinnin vaikutusta.

Rucolan tokoferolien analysoinnin lisäksi tutkittiin sen aistinvaraista laatua värin, ulkonäön, kaasukoostumuksen ja painohäviön kautta. Näytteistä oli tärkeää tutkia väriä, rakennetta, ulkonäköä ja ravintoarvoa, koska ne ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat kuluttajan ostopäätökseen. Tutkimuksen hypoteesina oli, että valaistuksessa säilytettäessä pilaantuminen on nopeampaa kuin pimeässä. Perforoiduissa, valossa säilytetyissä pakkauksissa pilaantumisen ja E-vitamiinin tuhoutumisen oletettiin olevan kaikista nopeinta, koska jos soluhengitys käy liian kiivaana, tuloksena on esim. ruskistumista (Martinez-Sanchez ym. 2011). Jos reikien määrä pakkauksissa on optimoitu juuri oikein rucolan soluhengityksen mukaan, ei pilaantumista välttämättä tapahdu. Aiempien tutkimusten perusteella oletettiin, etteivät rucolan vitamiinipitoisuudet muutu paljoa valaistuksessa (Martinez-Sanchez ym. 2011). Valaistuksen odotettiin vähentävän näytteiden painoa, varsinkin loisteputken alla säilytetyissä näytteissä, koska vettä höyrystyy silloin lämmön takia enemmän (Noichinda ym. 2006, Olarte ym. 2009). Tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa uutta tietoa valaistuksen vaikutuksesta lehtivihannesten vitamiineihin ja laatuun, jotta tietoa voitaisiin soveltaa käytännössä lehtivihannesten pakkauksia ja säilytysolosuhteita valittaessa ja vähentää näin ruokahävikkiä.

2 KOKEELLINEN TUTKIMUS

2.1 Tausta

Tutkimus liittyi elintarvike- ja ravitsemustieteiden osaston pakkausteknologian ja vitamiinianalytiikan tutkimuksiin. Yhteistyökumppaneina olivat pakkausmateriaalit toimittanut Amerplast Oy (Tampere) ja rucolan toimittanut Salico Oy (Helsinki). Käytetyt muovit oli valittu nimenomaan tutkimukseen sopiviksi, ja niiden perforointi oli optimoitu etukäteen rucolan soluhengityksen mukaisesti.

2.2 Materiaalit ja menetelmät

2.2.1 Tutkimuksen muuttujat

Pakkausmateriaalit

Käytetyt materiaalit valittiin niiden erilaisten valonläpäisyominaisuuksien perusteella, ja ne ovat yleisiä vihannesten pakkaamisessa. Työssä käytettiin viittä erilaista muovikalvoa, joista kaikista oli perforoitu ja perforoimaton versio. Koska muovien kaasujenläpäisevyyksissä oli eroja, perforoinnin avulla kaasujen vaihtuvuus saatiin optimoitua niin, että pystyttiin vertailemaan selkeämmin vain valon vaikutusta. Taulukossa 1. on esitetty kaikki tutkimuksessa käytetyt muovit, niiden lyhenteet, rei'itykset ja peittävyudet.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt muovit, niiden lyhenteet ja materiaalien perforointi- ja peittävyys ominaisuudet. Huurteenestosuoja (engl. antifog) on ilmoitettu lyhenteellä AF.

Materiaali	Lyhenne	Rei'itys	Peitto
OPP 20	OP2EIREI	ilman reikää	kirkas
OPP 20	OP2REI	reiällä	kirkas
OPP 20-30-35 AF	OP233EIREI	ilman reikää	kirkas
OPP 20-30-35 AF	OP233REI	reiällä	kirkas
PET12-PE40 AF laminaatti	PET14EIREI	ilman reikää	kirkas
PET12-PE40 AF laminaatti	PET14REI	reiällä	kirkas
OPP20-CPP30 AF laminaatti	OP2CP3EIREI	ilman reikää	painoväriblokki
OPP20-CPP30 AF laminaatti	OP2CP3REI	reiällä	painoväriblokki
PET30-PE40 (musta) laminaatti	PET-PEEIREI	ilman reikää	täysblokki
PET30-PE40 (musta) laminaatti	PET-PEREI	reiällä	täysblokki

Materiaalin nimi koostuu siinä käytetyistä muoveista ja niiden paksuuksista (μm). Osassa materiaaleista oli käytetty huurteenestosuojaa, joka on merkitty taulukkoon koodilla AF (engl. antifog). Huurteenestokerros oli lisätty materiaalien sisäpinnalle ja sen tarkoituksena oli estää vettä kondensoitumasta materiaalin pinnalle. Materiaalien lyhenteet on muodostettu

muovien nimistä, paksuuksista ja perforoinnista käytännön toimien helpottamiseksi. Orientoitu polypropeeni (OPP) on tyypillisesti polypropeenin ohuempaa, mutta se on kestävä ja monipuolinen muovi. Tässä työssä OPP, paksuudeltaan 20 µm, toimi referenssinä. Toinen työssä käytetty OPP-muovi oli kolmikerroksinen (20 µm, 30 µm, 35 µm), ja siinä oli huurteenestosuoja. Kolmas täysin läpinäkyvä materiaali oli polyeteenin ja polyeteenitereftaatin yhdistelmä, PET12-PE40-muovi, jossa PET (12 µm) muodosti ulkokerroksen ja PE (40 µm) sisäkerroksen. Tämä muovi sisälsi myös huurteenestosuojan ja oli OPP-muoveja mekaanisilta ominaisuuksiltaan jämäkämpää. PET-PE yhdistelmästä käytettiin työssä myös täysin valoa läpäisemätöntä mustaa laminaattia, jossa kerroksien paksuudet olivat 30 µm ja 40 µm. OPP20-CPP30 -laminaatissa oli huurteenestosuoja ja materiaalin pintaan oli painettu värit valon osittaiseksi torjumiseksi. Ulkopinnan muutaman mikrometrin paksuisessa pinnan peittävässä painovärikerroksessa oli useita värejä, kuten mustaa, sinistä ja vihreää.

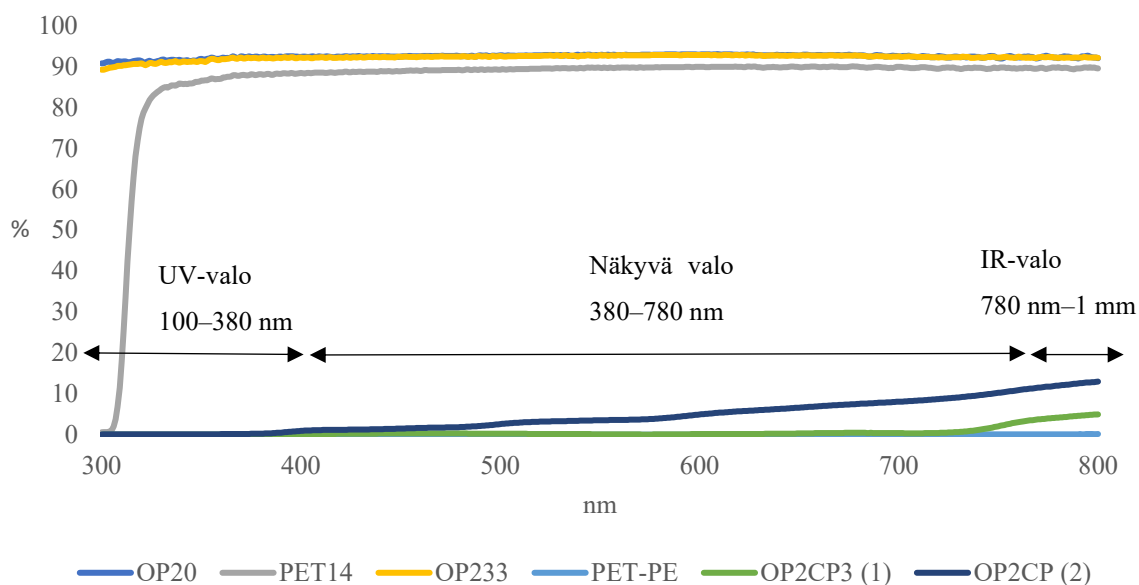
Valaistukset

Materiaalin lisäksi toinen muuttuja oli valaistus. Tutkimuksen valaistuksilla pyrittiin jäljittelemään kaupan valaistuksia. Säilyvyystestit suoritettiin pimeässä, loisteputken valossa (Flora loisteputki T8, 36 W, 1200 mm) ja LED-valossa (Osram LED-valoputki Substitube Adv, 15 W/840 EM).

2.2.2 Esikokeet

Pakkausmuovien esikokeet

Käytetyt pakkausmateriaalit olivat valonläpäisevyydeltään erilaisia, sillä kolme niistä oli läpinäkyviä, yhteen oli painovärillä lisätty osittain läpäisevä pintakerros ja yksi oli täysin musta. Käytettyjen muovien valonläpäisevyydet mitattiin esikokeissa spektrofotometrillä (Shimadzu UV-2501). Spektrofotometrissä oli integroiva pallodetektor, ja mitattava aallonpituusalue oli 300–800 nm. Integroivassa pallodetektorissa on valon sisääntuloaukko ja poistoaukko, ja sen merkityksellinen ominaisuus on sen tasainen sirontavaikutus, sillä missä tahansa sisäpinnan pisteessä valonsäteet jakautuvat tasaisesti kaikkiin muihin pisteisiin ja alkuperäisen valosuunnan vaikutukset minimoidaan. Pallodetektor mittaa sekä sironnutta että läpäissyttä valoa. Esikokeissa mitattiin vain transmission arvoa eli näytteen läpi menneen valon määrää. Mitatut valonläpäisevyydet on kerätty kuvaan 1.



Kuva 1. Käytettyjen muovien OP20, PET14, OP233, PET-PE, OP2CP3 (1) ja OP2CP3 (2) valonläpäisevyydet (%) 300–800 nm aallonpituuksilla spektrofotometrillä mitattuna. OP2CP3 (1) kuvaa materiaalin tummimman ja OP2CP3 (2) vaaleimman kohdan tulosta.

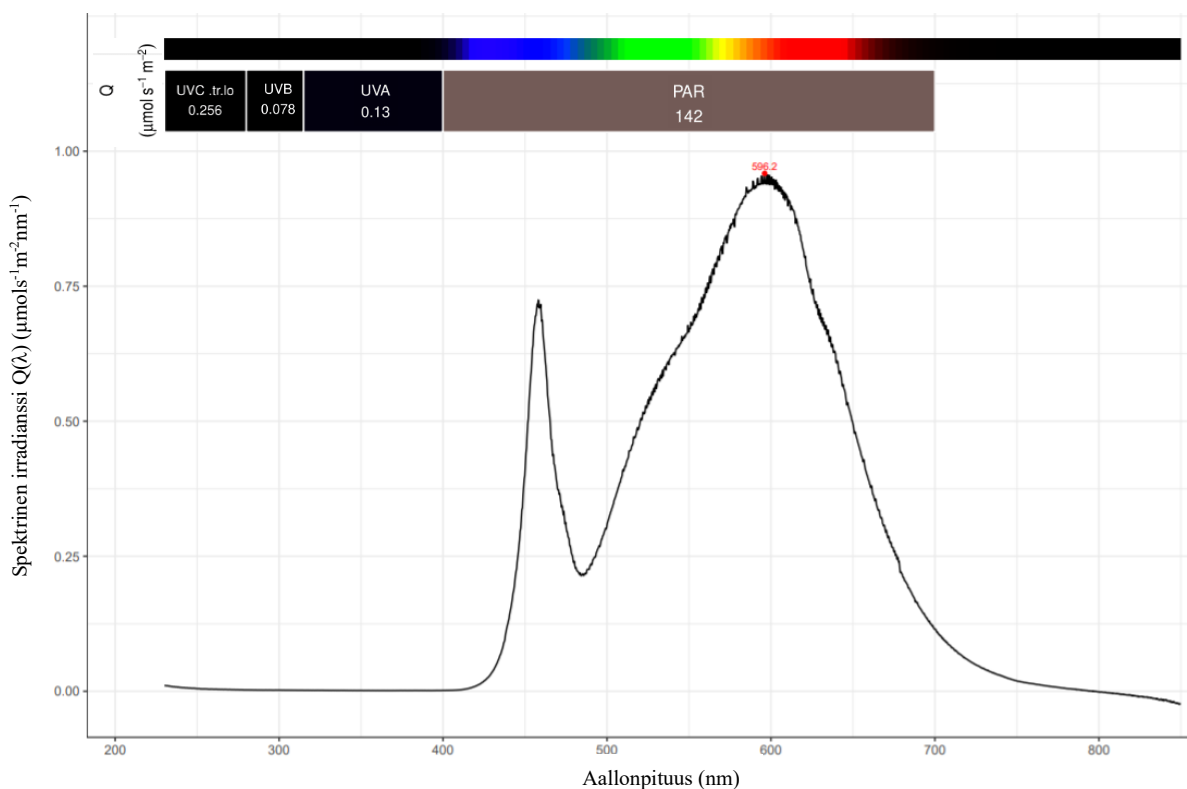
Materiaalit OP20 ja OP233 olivat valonläpäisevyydeltään toisiaan vastaavia, eli valoa pääsi kaikilla mitatuilla aallonpituuksilla läpi n. 90 % (kuva 1). OP20 on yksikerroksinen ja OP233 monikerroksinen, joten kerroksien lisäys ja materiaalin paksuuntuminen ei vaikuttanut valonläpäisevyyteen. PET14-muovi päästi valoa läpi vasta n. 320 nm:stä lähtien, eli se suojasi osittain UVC-valolta sekä vihanneksille haitalliselta UVB-valolta, jonka aallonpituudet ovat n. 280–315 nm. Valo ei läpäissyt PET-PE-muovia lainkaan ja kuvaajassa sen käyrä kulkeekin koko matkan 0 %:n tuntumassa. OP2CP3-materiaalin väri vaihteli paikallisesti, joten siitä mitattiin valonläpäisevyys tummimmasta ja vaaleimmasta kohdasta. Materiaalin tummimmasta kohdasta (OP2CP3 1) valoa pääsi vähän läpi 750 nm:n aallonpituudesta eteenpäin, eli siitä pääsi läpi infrapunavalo. Materiaalin vaaleimmasta kohdasta (OP2CP3 2) valoa pääsi läpi jo aiemmin, eli n. 500 nm:stä alkaen, eli siitä pääsi vähän valoa läpi jo näkyvän valon aallonpituuksilla. Valoa pääsi näissäkin tapauksissa läpi kuitenkin hyvin vähän, vain n. 10–13 %. Tutkimukseen valitut materiaalit edustivat valonläpäisevyydeltään kahta ääripäätä.

Valaistuksen esikokeet

Käytettyjen valojen valaistusvoimakkuus mitattiin digitaalisella luksimittarilla (Hagner, model EC 1, Ruotsi). Loisteputken valaistusvoimakkuuden arvoksi kaapin etuosasta saatiin

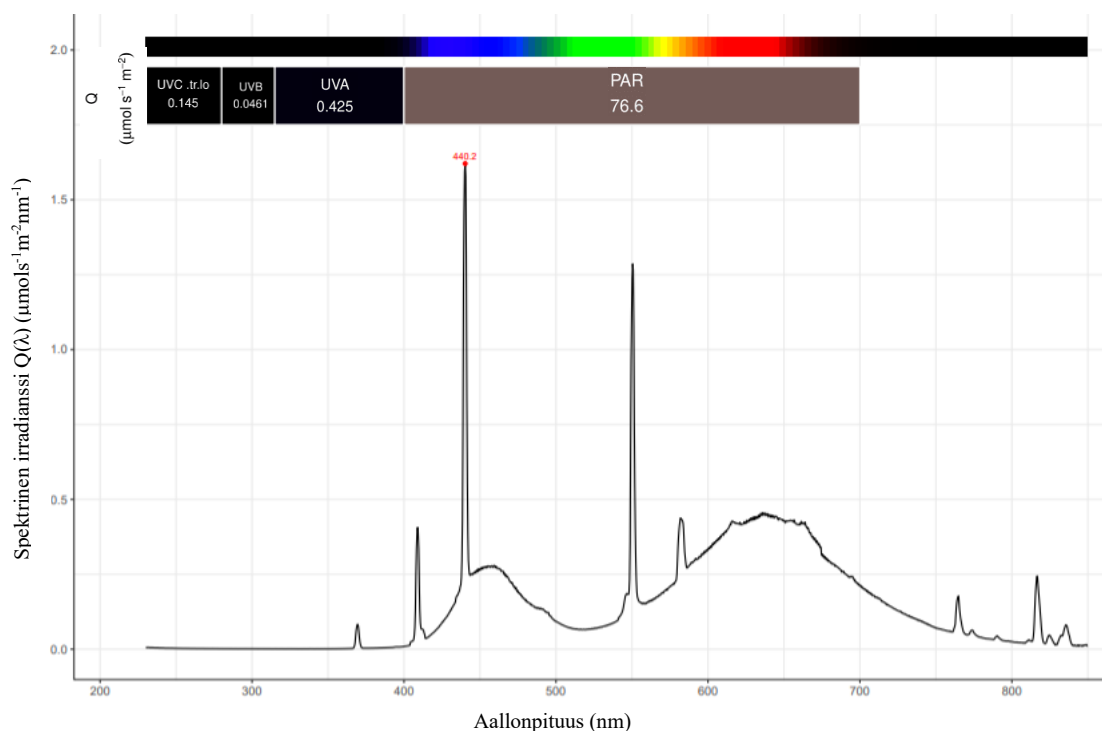
2000 luksia ja takaosasta 1000 luksia. LED-valojen tulokset olivat huomattavasti korkeampia, kaapin etuosassa oli 9800 luksia ja takana 2900 luksia. Kaapin etuosa oli lähempänä valoja kuin takaosa.

Valojen spektrit ja intensiteetit mitattiin spektrometrillä (Ocean Insight, Flame-s-rad Spectrometer, USA) olosuhdekaapin (WTC-binder, Saksa) kaikilta kolmelta hyllyltä, sekä oikealta että vasemmalta puolelta. Kuvissa 2 ja 3 esitetyt spektrit ovat keskihyllyn oikealta puolelta. Spektrien mittaustulokset eri puolilta vastasivat toisiaan. LED-valo tuottaa valoa aallonpituuksilla 420–750 nm eli vain näkyvän valon alueella (kuva 2). Eniten LED-valo tuotti valoa punaisella aallonpituudella ja seuraavaksi eniten sinisellä. Ne näkyvät kuvaajassa piikkeinä, eli niissä kohdissa spektrinen irradianssi $Q(\lambda)$ (engl. spectral photon irradiance), eli säteilyvoimakkuus (säteilyvirta pinta-alan yksikköä kohden) on suurin.



Kuva 2. LED-valon spektri mitattuna keskihyllyn oikealta puolelta.

Loisteputken spektri oli muodoltaan hyvin erilainen kuin LED-valon, sillä loisteputki tuotti näkyvän valon lisäksi hieman UV-valoa ja infrapunavaloa (kuva 3). Loistevalo tuotti myös paljon valoa sinisen ja vihreän valon aallonpituudella ja vain vähän punaisen valon aallonpituudella eroten tältä osin LED-valosta. Myös valojen irradianssien suuruuksissa oli eroja, sillä LED-valon korkein irradianssi oli alle $1 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ ja loisteputken yli $1,5 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{nm}^{-1}$.



Kuva 3. Loisteputkivalon spektri mitattuna keskihyllyn oikealta puolelta.

Kuvaajien (kuvat 2 ja 3) yläalaidassa on valaistuksen intensiteetti Q ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$), joka jakautuu UV-valon ja näkyvän valon (PAR) alueille. Kaikilta hyllyiltä mitattuna valojen spektrit käyttäytyivät samalla tavalla, mutta intensiteeteissä oli hieman eroja hyllyjen kesken (taulukko 2). Valaistuksen intensiteetti oli vahvin keskihyllyllä ja heikompi ylä- ja alahyllyillä. Oikean ja vasemman puolen mittausten välillä ei intensiteeteissä ollut suuria eroja. LED-valaistuksen intensiteetin keskiarvo oli LED-valolla $125 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ja loisteputkivalolla $65 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$.

Taulukko 2. LED-valon ja loisteputkivalon intensiteetit Q ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) mitattuna ala-, keski- ja ylähyllysten oikealta ja vasemmalta puolella.

Valaistus	Q ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)					
	Alahyllä		Keskihyllä		Ylähyllä	
	oikea	vasen	oikea	vasen	oikea	vasen
LED	104	105	142	148	124	125
Loiste	60,9	54,8	76,6	68,9	68	61,7

2.2.3 Rucolan säilyvyystesti

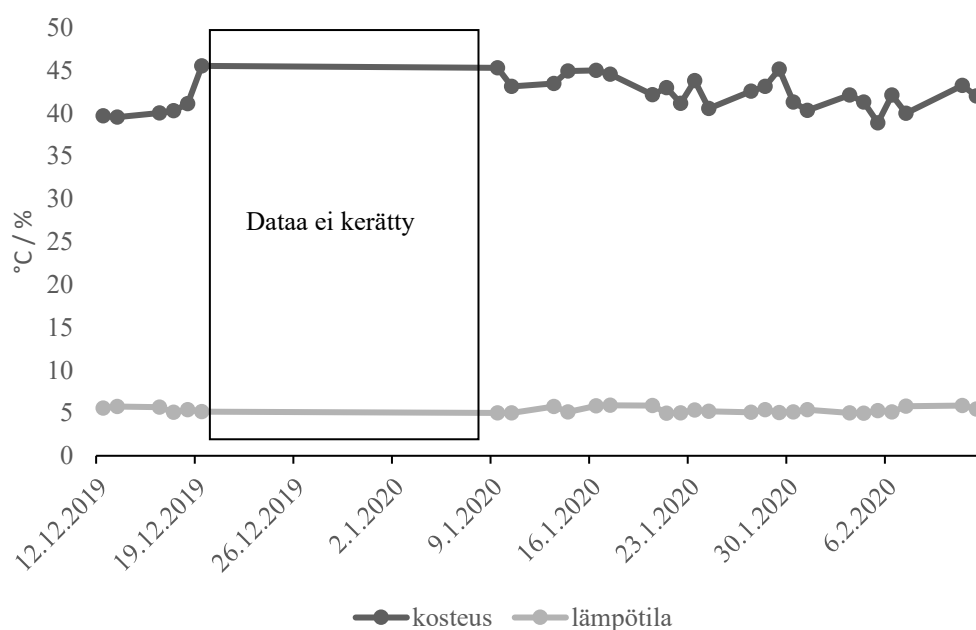
Rucola

Rucola saapui Hollannista Suomeen Salico Oy:lle Helsinkiin keskiviikkoisin 1 kg:n styroksipakkauksissa, mistä ne haettiin tutkimukseen Helsingin yliopistolle. Viikon kestävät säilytystestit aloitettiin torstaisin, jotta käytetty rucola olisi mahdollisimman tuoretta.

Rucolan toimittaja oli Rainbow International. Yhteensä rucolaa kului tutkimuksen kuudessa viikon kestävässä säilytystestissä n. 45 kg. Tutkimuksessa rucolan nettopaino yhdessä pakkauksessa oli 85 g.

Säilyvyystestin olosuhteet

Säilyvyystesti suoritettiin olosuhdekaapissa, ja testien aikana olosuhdekaapin lämpötila (n. 5 °C) ja ilmankosteus (40–50 %) pidettiin vakiona ja niitä seurattiin päivittäin (kuva 4). Lämpötilan keskiarvo oli kaikkien säilyvyystestien aikana 5,35 °C ja kosteuden 42,26 %.



Kuva 4. Olosuhdekaapin lämpötila- ja kosteuskäyrät säilytystestien ajalta 12.12.2019–12.2.2020. Säilyvyystestejä ei suoritettu eikä dataa kerätty välillä 20.12.2019–8.1.2020.

Tutkimuksessa oli kaksi prosessimuuttujaa, valaistus ja pakkausmateriaali, jossa oli vaihtelua niin läpäisyominaisuuksissa kuin valonsuojassa. Valaistusolosuhteita olivat pimeys, loisteputkivalo ja LED-valo. Näytteitä säilytettiin seitsemän päivän ajan altistettuna jatkuvalla valaistukselle tai pimeälle. Kaikissa kolmessa valaistuksessa tehtiin kaksi säilyvyystestiä, toinen perforoimattomilla pusseilla ja toinen perforoiduilla, koska olosuhdekaappiin mahtui kerralla vain 75 pussia.

Säilyvyystestin aloitus

Muovikalvot toimitettiin rullalla, ja niistä muodostettiin leikkaamalla ja saumaamalla pusseja. Valmiin pussin kokonaismitat olivat 22,5 cm x 23 cm x 3,5 cm (LxPxK), ja

sisämitoiksi jäivät saumauksen jälkeen 21 cm x 21,5 cm x 3,5 cm (LxPxK). Tämä pussin koko määräytyi muovirullien koon ja perforoitujen materiaalien reikien sijainnin mukaan. Muoveista leikattiin oikean kokoisia paloja sapluunan avulla. Perforoitujen materiaalien reikien paikka määritettiin märän paperin tai valon avulla, jotta kaikkiin reiällisiin pusseihin saatiin reikä oikeaan kohtaan.

Jokaisena viikon kestävän säilytyksen aloituspäivänä täytettiin rucolalla yhteensä 75 kappaletta aiemmin valmistettuja pusseja, eli kokonaisuudessa tutkimuksessa pusseja valmistettiin ja täytettiin 450 kappaletta. Jokaiseen pussiin punnittiin n. 85 g tuoretta rucolaa, minkä jälkeen pussin viimeinen avoin reuna saumattiin kiinni BOSS-vakuumpakkaimella (Max-F46, Saksa). Työssä ei käytetty suojakaasua tai vakuumia, vaan pusseihin jäi normaali ilmankoostumus. Tämän jälkeen pussit asetettiin olosuhdekaappiin niin, että kaikki pussit saisivat mahdollisimman tasaisesti valoa (kuva 5).



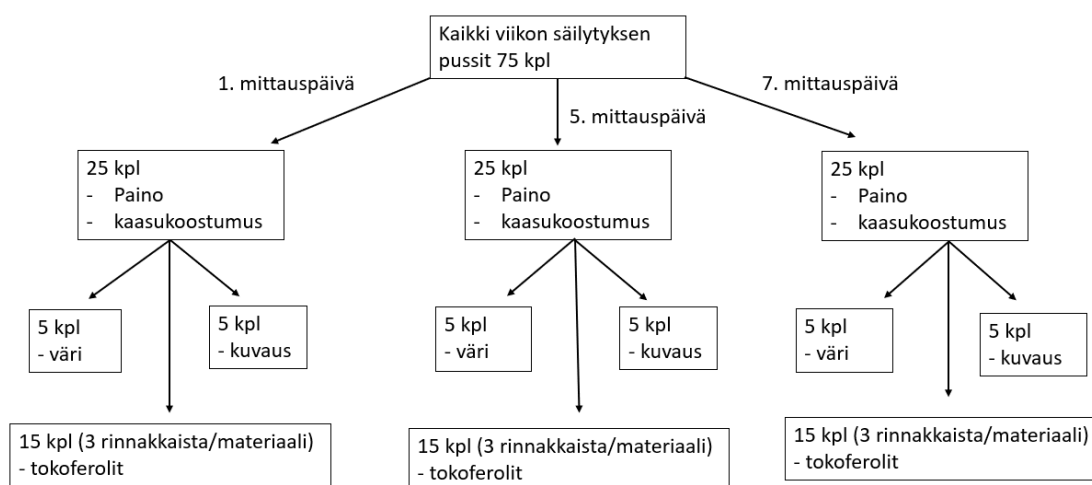
Kuva 5. Yhden viikon kestävän säilytysjakson kaikki rucolapussit (75 kpl) olosuhdekaapissa ritilöiden päällä kolmessa tasossa kaapin oven ollessa auki.

Valon tasaisen jakautumisen takia olosuhdekaappiin aseteltiin kolme verkkolevyä n. 45 asteen kulmaan ja jokaiseen verkkolevyyn kiinnitettiin narun ja klipsien avulla aloituspäivänä 25 pussia. Lamput olosuhdekaapin sijaitsivat ovissa, joten valo osui pusseihin yhdestä suunnasta ovien ollessa kiinni, ja ensimmäisen mittauspäivän jälkeen kaappi oli huomattavasti tyhjempi, joten kaikki pussit saivat tasaisesti valoa. Pussit aseteltiin

olosuhdekaappiin loogisesti niin, että ensimmäisten mittauspäivien pussit saatiin otettua pois mahdollisimman nopeasti ja helposti pitämättä ovea kauaa auki.

2.2.4 Laadun mittaukset

Mittaukset suoritettiin päivinä 1, 5 ja 7, ja jokaisena päivänä otettiin 25 pussia kaapista mittauksiin (kuva 6). Kaikista pusseista mitattiin paino ja kaasukoostumus, minkä jälkeen viisi pusseista käytettiin värin mittaukseen, viisi kuvaukseen ja loput 15 pakkaskuivattiin myöhempiä tokoferolimääriä varten.



Kuva 6. Yhden viikon säilytyksen pussien määrät ja käyttötarkoitukset mittauspäivinä. (1. ja 5. mittauspäivien vitamiinianalyysiin kerättyjä näytteitä ei ehditty tässä tutkimuksessa analysoida.)

Jokaisena mittauspäivänä samasta materiaalista valmistettuja pusseja otettiin olosuhdekaapista viisi: yksi värin mittaukseen, yksi kuvaukseen ja kolme pussia vitamiinien määrittystä varten. Kaikista pusseista mitattiin painon muutos Δm (g) (kaava 1.)

$$\Delta m = (\text{lähtöpaino (g)} - \text{paino mittauspäivänä (g)}) \quad (1)$$

Kaikkien pussien kaasukoostumus mitattiin kaasuanalysaattorilla (PBI Dansensor, ChekMate II, Tanska), joka mittasi hapen, hiilidioksidin ja typen määrän pussin sisällä. Kaasukoostumus mitattiin pussin läpi työnnettävän neulan avulla, jolloin saman pussin seuranta ei voitu enää jatkaa, mutta ne voitiin hyödyntää muihin saman päivän mittauksiin.

Värin mittausta varten pussista valittiin viisi lehteä, joiden yläpuoli oli ollut pussissa päällimmäisenä valon vaikutuksen alaisena. Näiden lehtien väri mitattiin värimittarilla (Spektrofotometri CM-2600d, Konica Minolta Sensing, Japani). Ensin mittari kalibroitiin valmistajan vakiovalkoisella levyllä. Värimittari ilmoitti tulokset avaruudellisilla arvoilla

L^* , a^* ja b^* . L^* vaihtelee mustasta (0) valkoiseen (100), a^* :n negatiiviset ja positiiviset arvot kuvaavat vihreää ja punaista väriä ja b^* :n positiiviset ja negatiiviset arvot keltaista ja sinistä. Saaduista tuloksista laskettiin kokonaisvärinmuutosta kuvaava ΔE^* kaavalla 2 (Mokrzycki ja Tatol, 2011). Tekijöiden L_2 , a_2 ja b_2 kohdalla käytettiin seitsemännen mittauspäivän arvoja ja tekijöiden L_1 , a_1 ja b_1 kohdalla ensimmäisen mittauspäivän arvoja. Tulos kuvaa mittauspisteiden etäisyyttä toisistaan kolmiulotteisessa asteikossa. Värimittaus kuvaa kuitenkin vain mitatun pinta-alan keskiarvoa, joten värivirheiden epäsäännöllisyys vaikuttaa suoraan tulokseen. Tämän takia väriä kuvailtiin myös sanallisesti ja valokuvaten. Lisäksi näytteiden hajua, ulkonäköä ja rakennetta arvioitiin aistinvaraisesti.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$

Taulukossa 3 on esitetty selitteet ΔE :n arvoille. Alle 3 arvoja ei huomaa silmin ja ΔE :n ylittäessä arvon 2, on kyseessä todella pieni, jonka kokenut havainnoija huomaa (Mokrzycki ja Tatol, 2011). Vasta arvon ollessa yli 3,5 on ero helposti havaittava ja arvon ylittäessä 5 ero on todella selkeä.

Taulukko 3. Värieron (ΔE) arvojen selitteet. (Mokrzycki ja Tatol, 2011)

Värieron suuruus (ΔE)	Selite
0–1	Ei havaittavaa eroa
1–2	Todella pieni ero, jonka vain kokenut havainnoija huomaa
2–3,5	Todella pieni ero, jonka kokematon havainnoija huomaa
3,5–5	Selkeä ero
> 5	Todella selkeä ero

Vitamiinianalyysyjä varten otetuista pusseista (kolme rinnakkaista jokaisesta eri materiaalista jokaisena mittauspäivänä) punnittiin kaikista n. 20 g rucolaa rei'itetyn folion päälle, minkä jälkeen kääritty folio rucoloineen upotettiin nestetyppeen ja siirrettiin sitten pakkaseen (-70 °C) tai suoraan pakkaskuivuriin. Työssä käytettiin Christ gamma 2-20-pakkaskuivainta (B. Braun diessel biotech GmbH, Saksa) ja HETO FD8-kylmäkuivainta (HETO Holten, Tanska). Pakkaskuivauksen jälkeen kuivunut rucola punnittiin ja siirrettiin pusseissa pakkaseen (-20 °C), jotta niiden bioaktiiviset yhdisteet pysyivät parhaiten muuttumattomina vitamiinien analysointia varten.

2.2.5 Tokoferolimääritys

Tokolit analysoitiin kaikista seitsemännen päivän näytteistä. Jokaisesta eri materiaalissa ja eri valaistuksessa säilytetystä rucolasta valmistettiin kaksi rinnakkaista näytettä. Aluksi

pakkaskuivatut ja pakkasessa säilytetyt näytteet hienonnettiin morttelilla ja n. 50 mg muodostunutta jauhetta punnittiin 10 ml:n koeputkiin. Tokolien täytyi olla liukoissa muodossa nestekromatografista määrittämiä varten, joten näyte uutettiin heptaaniin. Aluksi koeputkeen lisättiin 6 ml heptaania, minkä jälkeen näytettä sekoitettiin sekoittajalla 5 minuuttia (Multireactor 14922, N. FOSS Electric A/S, Tanska) ja sentrifugoitiin sitten 7 minuutin ajan nopeudella 1300 rpm. Sen jälkeen supernatantti kerättiin talteen 10 ml:n mittapulloihin. Koeputkiin lisättiin uudestaan heptaania, tällä kertaa 3,5 ml. Näytteet sekoitettiin ja sentrifugoitiin kuten edellä, minkä jälkeen sakan päälle jäänyt supernatantti yhdistettiin edelliseen supernatanttiin mittapullossa. Tämän jälkeen mittapullot täytettiin heptaanilla merkkiin asti ja suodatettiin 0,45 µm:n ruiskusuodattimen (GHP Acrodisc, 0.45 µm, 13 mm; Pall Laboratory, Washington, USA) läpi näyteputkiin.

Näyteputket säilytettiin pakkasessa, kunnes uutettu ja suodatettu näyteliuos ajettiin suuren erotuskyvyn nestekromatografilla (Waters 510-pumppu, Waters Corporation, Milford, MA, USA). Näyteliuosta injektointiin 50 µl ajoliuosvirran (n-heptaani:dioksaani 97:3) sekaan. Virtausnopeus oli 2 ml/min. Tutkittavat yhdisteet erottuivat kolonnissa (Inertsil 5 SI 5 µm, 30 cm x 3,9 mm, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA), ja ne havaittiin fluoresenssi-ilmaisimella (Waters 247), jonka viritysaallonpituudeksi oli asetettu 292 nm ja emissioaallonpituudeksi 324 nm. Näytteiden sisältämät tokolit tunnistettiin kromatogrammista standardiyhdisteiden retentioaikojen avulla ja kvantitoitiin ulkoisia standardisuoria käyttäen. Näytteistä ei havaittu tokotrienoleja ja tokoferoleista havaittiin vain alfatokoferolia. Tulokset on ilmaistu kuivapainoa kohden, mikä tässä tapauksessa tarkoittaa pakkaskuivattua näytettä, sillä jäännöskosteuspitoisuuksia ei ehditty määrittää.

2.2.6 Tulosten analysointimenetelmät

Tulosten tilastolliseen analysointiin käytettiin SPSS-ohjelmistoa (IBM SPSS Statistics 25). Tulosten normaalijakautuneisuus ja varianssien yhtäsuuruus varmistettiin ennen parametristen yksi- ja kaksisuuntaisten varianssianalyysien suorittamista. Poikkeavien tulosten hyväksyttävyys tarkistettiin kuvaajista. Tulosten tilastollinen merkitsevyys määritettiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (engl. analysis of variance, ANOVA) ja Tukeyn testillä tai kaksisuuntaisella varianssianalyysillä (two way-ANOVA). Jos normaalius ei täysin pätenyt, tarkistettiin tulokset epäparametrisin keinoin. Menetelmillä selvitettiin, erosivatko tulokset tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($p < 0,05$).

2.3 Tulokset

2.3.1 Painohäviö

Viikon säilytyksen aikana rucolan painossa ei tapahtunut suuria muutoksia (taulukko 4). Rucolan paino aleni viikon aikana perforoiduissa pusseissa säilytettäessä 0,20–0,90 % ja perforoimattomissa pusseissa säilytettäessä 0,23–1,87 %. Suurin painohäviö eli haihtumisesta aiheutuva painon alenema sekä perforoiduissa että perforoimattomissa pusseissa havaittiin LED-valossa OP233-materiaalia käytettäessä. Perforoimattomissa pusseissa säilytettyjen näytteiden painohäviö oli suurempaa melkein kaikissa materiaaleissa ja valaistuksissa perforoitujen pussien näytteisiin verrattuna. Tästä poikkesivat vain pimeään OP2CP3-materiaalin näytteet, loisteputkivalon OP2CP-näyte ja LED-valossa säilytettyjen perforoitujen OP20- ja PET-PE-materiaalien näytteet. Perforoidussa OP2CP3-materiaalissa LED-valossa säilytettäessä näytteen paino lisääntyi poiketen näin kaikista muista näytteistä. Huurteenestosuojan (materiaalit) sisältävien pussien (OP233, PET14 ja OP2CP3) näytteiden painon muutos eri eronnut muiden pussien näytteiden painon muutoksesta. Keskihajonnoista nähdään, ettei pimeässä ja loisteputken valossa säilytettyjen näytteiden painossa ollut suuria eroja rinnakkaisten mittausten välillä, mutta LED-valossa OPP233-pussien näytteiden keskihajonta oli suurta.

Taulukko 4. Perforoimattomiin ja perforoituihin pusseihin (OP20, OP233, PET14, OP2CP3 ja PET-PE) pakatun rucolan keskimääräinen painon muutos (ka, %) ja keskihajonta (kh) seitsemän päivän säilytyksen jälkeen pimeässä, loisteputken valossa ja LED-valossa.

Pakkausmateriaali ja perforointi	Painon muutos					
	Pimeä		Loiste		LED	
	ka (%)	kh	ka (%)	kh	ka (%)	kh
OP20						
Perforoitu	-0,46	0,07	-0,24	0,17	-0,42	0,10
Perforoimaton	-0,58	0,06	-0,46	0,61	-0,23	0,12
OP233						
Perforoitu	-0,48	0,17	-0,20	0,06	-0,90	0,94
Perforoimaton	-0,55	0,11	-0,40	0,12	-1,87	1,88
PET14						
Perforoitu	-0,27	0,06	-0,34	0,06	-0,47	0,47
Perforoimaton	-0,81	0,13	-0,50	0,10	-0,30	0,04
OP2CP3						
Perforoitu	-0,65	0,42	-0,56	0,04	+1,64	0,55
Perforoimaton	-0,47	0,15	-0,50	0,13	-0,30	0,04
PET-PE						
Perforoitu	-0,28	0,12	-0,44	0,06	-0,57	0,25
Perforoimaton	-0,53	0,09	-0,60	0,24	-0,61	0,14

Kun eri materiaaleja ei huomioitu mukaan tilastolliseen analyysiin, ei rucolan painon muutoksessa havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja käytettyjen valaistusten välillä. Kun materiaalien erot huomioitiin, painon muutoksessa tilastollisesti merkitseviä eroja oli vain LED-valon näytteiden välillä (liite 1). Perforoimattomien pussien OP20 ja OP233, OP23 ja PET14, OP23 ja PET-PE ja OP23 ja OP2CP3 sekä perforoitujen pussien OP20 ja OP233, OP233 ja PET14, OP23 ja OP2CP3, PET14 ja OP2CP3 ja PET-PE ja OP2CP3 näytteiden painon muutokset erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

2.3.2 Muutokset värissä ja ulkonäössä

Muutokset värissä

Viikon aikana perforoiduissa pusseissa pimeässä säilytettyjen näytteiden väri ei juuri muuttunut, mutta valaistuksissa säilytetyissä näytteissä oli eroja ensimmäisen ja viimeisen mittauksen välillä (taulukko 5). LED-valossa ja loisteputken valossa lehdet muuttuivat vaaleammiksi (L^*) ja keltaisemmiksi (b^*), kun näiden tekijöiden arvot nousivat. Vihreässä värissä (a^*) muutosta havaittiin vain LED-valossa.

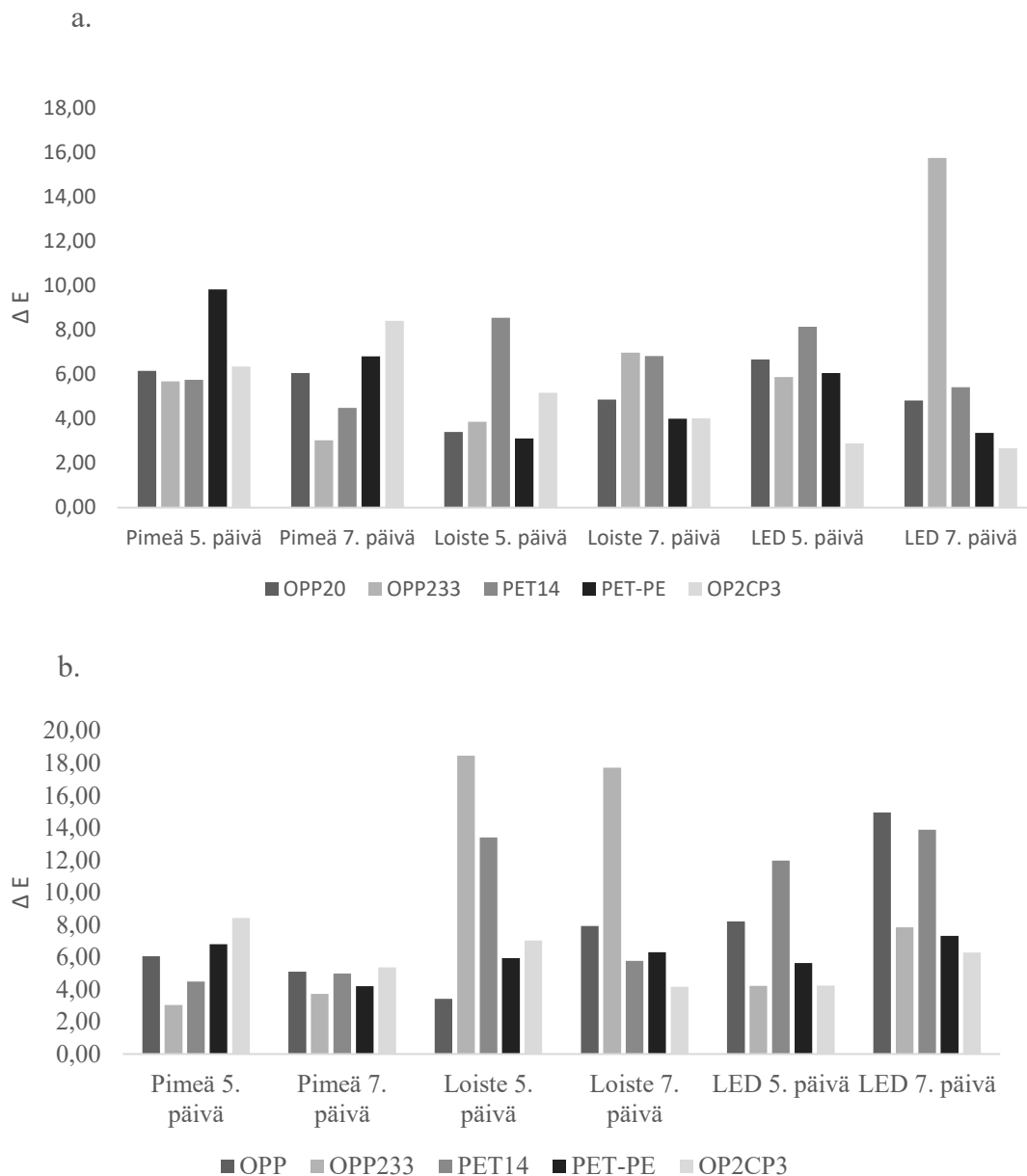
Taulukko 5. Perforoiduissa pusseissa säilytettyjen näytteiden värimittarilla mitatut arvot (L^* , a^* ja b^*) mittauspäivinä yksi ja seitsemän, pimeässä, LED-valossa ja loisteputken valossa säilytettynä

Valaistus	L^*		a^*		b^*	
	Mittauspäivä 1	Mittauspäivä 7	Mittauspäivä 1	Mittauspäivä 7	Mittauspäivä 1	Mittauspäivä 7
Pimeä	41,54	41,18	-9,13	-9,29	18,43	18,90
Loiste	39,35	43,95	-8,38	-8,91	17,18	23,79
LED	40,01	43,87	-6,75	-9,36	16,78	21,76

Värierot

Rucolanäytteiden värierot (ΔE), joissa verrattiin ensimmäisen päivän tuloksia viidennen ja seitsemännen päivän tuloksiin, olivat kaikki suuria ja silmin havaittavia eroja oli kaikissa valaistuksissa ja lähes kaikissa näytteissä (kuvat 7a ja 7b). Vain perforoimattomassa OP2CP3-pussissa LED-valossa säilytetty näyte säilytti värinsä ilman silmin havaittavaa eroa ($\Delta E < 3$) sekä viidennen että seitsemännen päivän mittauksissa. Todella pieni silmin havaittava ero ($\Delta E < 3,5$) todettiin perforoimattoman OP233-pussin pimeässä säilytetyssä näytteessä seitsemäntenä mittauspäivänä ja perforoidussa OP233-pussin näytteessä pimeässä viidennen päivän mittauksessa. Todella selkeästi silmin havaittavat erot ($\Delta E > 15$) olivat perforoimattoman OP233-pussin LED-valossa säilytetyssä näytteessä seitsemäntenä

mittauspäivänä ja perforoidun OP233-pussin loisteputken valossa säilytetyssä näytteessä viidennen ja seitsemännen päivän mittauksissa. OP233-pussin näytteen väri vaihteli paljon riippuen olosuhteista, todella vaikeasti silmin havaittavista eroista selkeästi havaittaviin eroihin.



Kuvat 7a ja 7b. Perforoimattomista (a) ja perforoiduista (b) materiaaleista (OPP20, OPP233, PET14, PET-PE, OP2CP3) valmistetuissa pusseissa säilytettyjen rucolanäytteiden väriero (ΔE) pimeässä, loisteputken valossa ja LED-valossa mittauspäivinä 5 ja 7.

LED-valossa ja pimeässä sekä toisaalta loistevalossa ja pimeässä säilytettyjen näytteiden värierot erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan, kun yksisuuntaisella varianssianalyysillä tutkittiin perforoitujen pussien näytteiden seitsemännen mittauspäivän tuloksia (liite 2). LED-valossa ja loisteputken valossa säilytettyjen näytteiden värierojen

välillä tilastollinen ero ei ollut merkitsevä. Tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi myös materiaalien väliltä (liite 3). Kun materiaaleja vertailtiin valaistusta huomioon ottamatta, materiaalien OP20 ja OP2CP3, OP233 ja PET-PE sekä OP233 ja OP2CP3 näytteet erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Kun materiaali (perforoitu) ja valaistus huomioitiin yhdessä, pimeässä säilytettyjen näytteiden värieroissa ei ollut lainkaan merkitseviä eroja eri materiaalien välillä (liite 4). Loisteputken valossa useiden materiaalien välillä oli eroja (OP20 ja OP233, OP20 ja OP2CP3, OP233 ja PET14, PET14 ja OP2CP3 ja PET14 ja PET-PE). LED-valon sisällä tilastollisesti merkitseviä eroja oli OP233-materiaalin näytteen ja kaikkien muiden materiaalien näytteiden välillä.

Aistinvarainen tarkastelu

Rucolan haju, rakenne ja ulkonäkö arvioitiin aistinvaraisesti. Ensimmäisenä mittauspäivänä, eli yhden päivän valoaltistuksen jälkeen, ei missään näytteissä havaittu muutoksia hajussa, rakenteessa, värissä tai syömäkelpoisuudessa verrattuna tuoreeseen näytteeseen. Viidentenä mittauspäivänä kaikki rucolanäytteet olivat vielä syömäkelpoisia, mutta väritään vaaleampia ja rakenteeltaan joko kosteahkoja tai kuivahkoja. Seitsemäntenä mittauspäivänä näytteiden laadussa oli selkeästi enemmän muutoksia ja osa näytteistä koettiin jopa syömäkelvottomiksi. Taulukossa 6 on esitetty seitsemännen mittauspäivän näytteiden hajun, rakenteen ja värin lyhennetyt sanalliset arviot. Aistinvaraisten arviontien perusteella näytteen hajun, värin, ulkonäön ja rakenteen parhaiten säilyttivät perforoidut pussit pimeässä säilytyksessä. Materiaaleja kaikissa valaistuksissa vertailtaessa tummien PET-PE- ja OP2CP3-materiaalien näytteet saivat värin kannalta parhaimmat arvioinnit. Tummien pussien näytteet arvioitiin myös rakenteeltaan läpinäkyvien pussien näytteitä paremmiksi. OP2CP3-materiaali toimi näytteen laadunsäilytykseen materiaaleista parhaiten, koska toisen tumman materiaalin (PET-PE) näytteet olivat useimmissa valaistuksissa vähän liiankin kuivia, jolloin lehdet olivat aika kasassa ja materiaali sai muutamassa valaistuksessa arvion syötäväksi kelpaamattomuudesta.

Taulukko 6. Rucolanäytteiden lyhennetyt sanalliset arvioinnit hajusta, rakenteesta ja väristä 7. mittauspäivänä kaikissa käytetyissä materiaaleissa ja valaistuksissa.

Materiaali	Haju	Rakenne	Väri
OP20			
Pimeä	Mieto	Kostea	Tasainen, muutama vaaleampi
Pimeä, perforoitu	Keskivahva	Kostea	Tasaisen vihreä
Loiste	Mieto	Kostea	Tasaisen vihreä, muutama keltainen
Loiste, perforoitu	Keskivahva	Kostea	Vaalean vihreä
LED	Mieto	Kostea	Vaaleita seassa
LED, perforoitu	Mieto tunkkaisuus	Kostea	Tasaisen vihreä, paljon tummuneita kohtia*
OP233			
Pimeä	Keskivahva	Kostea	Vaalean vihreä
Pimeä, perforoitu	Mieto	Kosteahko	Tasaisen vihreä
Loiste	Keskivahva	Kosteahko	Vaaleita, paljon keltaisia
Loiste, perforoitu	Keskivahva	Kosteahko	Tasaisen vihreä
LED	Keskivahva	Kosteahko	Vaalean vihreä
LED, perforoitu	Mieto	Kosteahko	Paljon keltaisia seassa
PET14			
Pimeä	Tunkkainen, outo*	Kosteahko	Tasaisen vaalean vihreä
Pimeä, perforoitu	Mieto	Kosteahko	Tasaisen vihreä
Loiste	Keskivahva	Kostea	Tasaisen vihreä
Loiste, perforoitu	Keskivahva	Kosteahko	Vaalean vihreä
LED	Mieto	Kostea	Vaaleaa, paljon keltaisia ja pilkullisia*
LED, perforoitu	Mieto	Kostea	Vaalean vihreä
PET-PE			
Pimeä	Melko mieto	Kuivahko	Tasaisen vaalean vihreä, seassa tummia*
Pimeä, perforoitu	Voimakas	Kuivahko	Tasaisen vihreä
Loiste	Voimakas	Kuiva	Tasaisen vihreä
Loiste, perforoitu	Voimakas	Kuiva	Tasaisen vihreä
LED	Paha, pistävä*	Kuivahko	Tasaisen vihreä
LED, perforoitu	Mieto	Kuivahko	Tasaisen vihreä
OP2CP3			
Pimeä	Melko mieto	Kuiva	Vaalean vihreä
Pimeä, perforoitu	Keskivahva	Kuiva	Tasaisen vihreä
Loiste	Mieto pistävyys	Kuivahko	Tasaisen vihreä
Loiste, perforoitu	Mieto	Kuivahko	Tasaisen vihreä
LED	Mieto	Kuivahko	Tasaisen vaalean vihreä
LED, perforoitu	Mieto	Kuivahko	Tasaisen vihreä

*Näytteet arvioitu syömäkelvottomiksi kyseisen ominaisuuden takia

Näytteiden hajua laimennettiin ensimmäisen mittauspäivän tuoreesta rucolamaisesta hajusta niin, ettei mikään seitsemännen mittauspäivän näytteistä ollut enää vastaava. Seitsemännen päivän mittauksissa näytteiden hajua kuvailtiin miedosta voimakkaaseen (taulukko 6). Mieto, melko mieto, keskivahva ja voimakas ovat kaikki hyviä arvioita ja kuvasivat rucolamaisen hajun voimakkuutta heikoimmasta voimakkaimpaan. Negatiivisesti hajua kuvasivat sanat paha, pistävä, tunkkainen ja outo. OP20-pussien näytteiden hajua arvioitiin muuten kaikissa valaistuksissa miedoksi tai keskivahvoiksi, mutta perforoidun OP20-pussin näytteessä oli LED-valossa hieman tunkkainen hajua. Kaikki OP233-pusseissa säilytetyt näytteet koettiin miedoksi tai keskivahvoiksi hajun perusteella. Hajun takia syömäkelvottomiksi koettiin pimeässä säilytettyjen perforoimattomien PET14-pussien näytteet ja perforoimattomien LED-valossa säilytettyjen PET-PE-pussien näytteet. Molempien näytteiden hajua kuvailtiin pahaksi, oudoksi ja pistäväksi. Lisäksi kyseisissä

pusseissa oli paljon tummuneita kohtia, mikä voi selittää epämiellyttävän hajun syytä. PET-PE-pusseissa säilytetyt näytteet koettiin usein voimakkaimman rucolan hajuisiksi ja OP20-pussien näytteet puolestaan miedoimmiksi.

Seitsemäntenä mittauspäivänä rucolanäytteiden rakenne vaihteli kuivasta kosteaan (taulukko 6). Kuivahkoiksi ja kosteahkoiksi arvioidut näytteet olivat rakenteeltaan parempia kuin kuivat ja kosteat. Kosteus koettiin kuivuutta huonompana asiana, koska kosteat rucolanlehdet tarttuivat sormiin ja olivat menettäneet rakennetta ja muotoa. Varsinkin OP20-materiaalissa säilytetty rucola koettiin todella kosteaksi ja lytistyneeksi, riippumatta perforoinnista ja valaistuksesta. Läpinäkyvien pussien OP20, OP233 ja PET14 näytteet arvioitiin kaikissa valaistuksissa kosteiksi tai kosteahkoiksi, mutta osittain peittävän OP2CP3-pussin ja peittävän PET-PE-pussin näytteet arvioitiin kuiviksi tai kuivahkoiksi kaikissa valaistuksissa. Yleisesti parhaimmat arviot rucolanäytteiden rakenteen säilyttämisestä sai musta PET-PE materiaali. Rakenteen takia mitään näytettä ei kuitenkaan arvioitu syömäkelvottomaksi.

Pimeässä perforoiduissa pusseissa säilytetyt rucolat arvioitiin kaikkina mittauspäivinä syömäkelpoisiksi ja tasaisen vihreiksi muutamaa rusehtavaa lehteä lukuun ottamatta. Osa pimeässä perforoimattomissa pusseissa säilytettyjen rucoloiden lehdistä oli puolestaan vaalentunut seitsemännen päivän mittauksissa, mutta vaalentuminen oli kauttaaltaan siististi tapahtunutta, eikä todella vaaleita tai keltaisia lehtiä erottunut räikeästi. Loistevalaistuksessa perforoimattomissa pusseissa puolestaan esiintyi viikon säilytyksen jälkeen kokonaan keltaisia lehtiä. Keltaisia lehtiä löytyi OP20- ja OP233-pusseista, mutta siitä huolimatta ne arvioitiin kokonaisuutena syömäkelpoisiksi. Perforoitujen pussien näytteiden lehdet säilyttivät loisteputkivalossa paremmin värinsä. Keltaisia lehtiä esiintyi myös LED-valaistuksen näytteissä, sekä perforoiduissa että perforoimattomissa pusseissa. Perforoimattomissa pusseissa silmämääräisesti eniten ja selkeimmin keltaisia lehtiä näkyi seitsemäntenä mittauspäivänä PET14-materiaalin pusseissa, mutta vaaleanvihreitä lehtiä oli myös kaikissa muissa pusseissa, lukuun ottamatta täysin tumman PET-PE-materiaalin näytettä. Kuvissa 8a ja 8b on esimerkkejä kellastuneista ja pilkullisista lehdistä. Perforoiduissa pusseissa eniten keltaisia lehtiä oli OP233-pusseissa, OP20-pusseissa rucolan seassa oli paljon tummentuneita, pilaantuneen näköisiä kohtia ja PET14-pusseista näytteen seasta löytyi jopa homeinen kohta. Yleisesti kaikissa valaistuksissa PET-PE- ja OP2CP3-pussien näytteiden väri arvioitiin selkeästi useammin tasaisen vihreäksi kuin läpinäkyvien muovien (OP20, OP233, PET14) sisältämien näytteiden väri (taulukko 6).



Kuvat 8a ja 8b. Rucolanäytteissä seitsemännen päivän mittauksissa esiintyneitä värimuutoksia.

Muutama näyte arvioitiin syömäkelvottomiksi hajun takia (LED-valo, perforoimaton PET-PE-materiaali ja pimeä perforoimaton PET14-materiaali) ja muutama ulkonäön takia, sillä niissä oli lehtien seassa tummia limaisia kohtia (LED-valo, perforoitu OP20- ja PET14-materiaali ja pimeä, perforoimaton PET-PE-materiaali). Kuvassa 9. on LED-valossa perforoidussa OP20-pussissa säilytetyn näytteen pilaantunut kohta. Muissa syömäkelvottomiksi ulkonäön vuoksi arvioituissa näytteissä oli samankaltaisia pilaantumisen merkkejä.

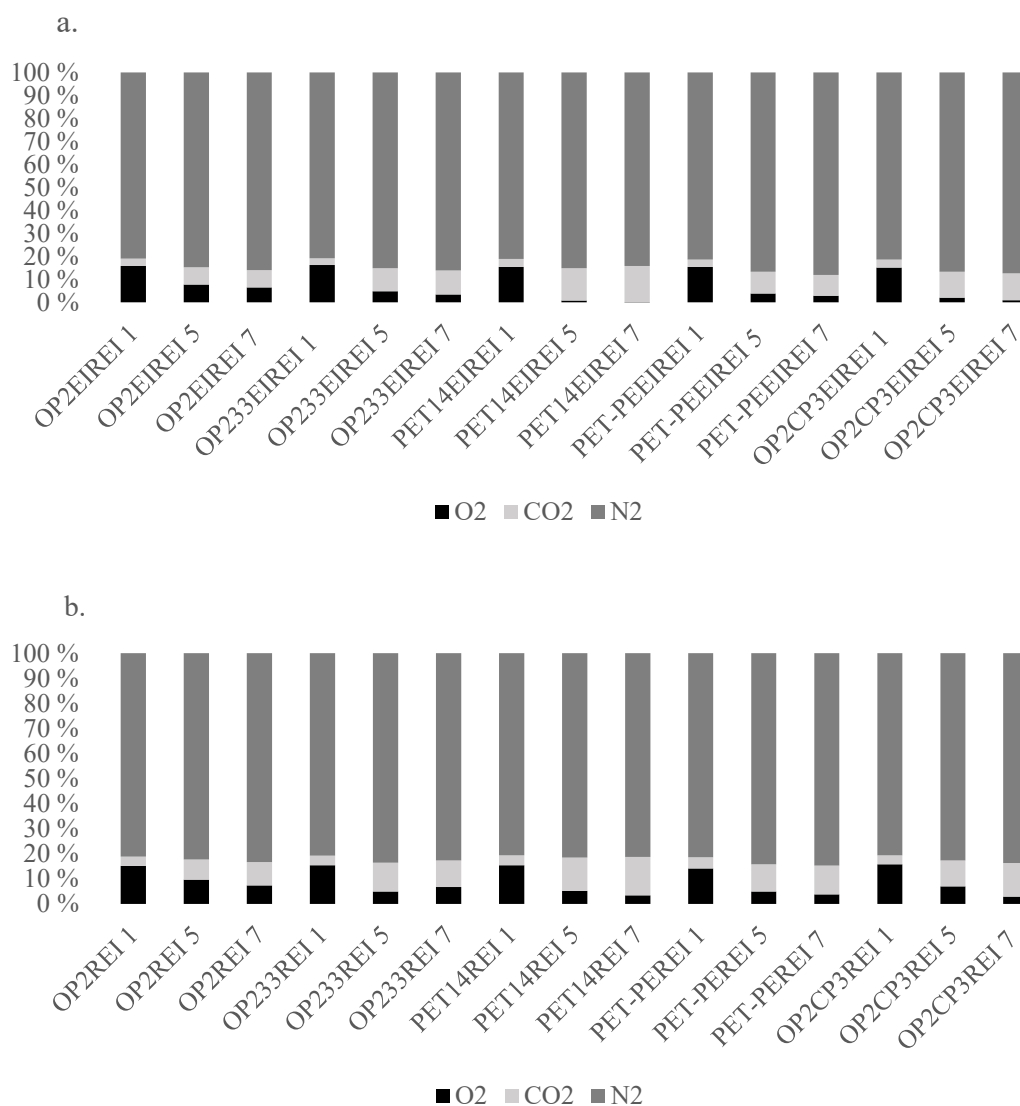


Kuva 9. Rucolanäytteen pilaantunut kohta, joka johti arvioon syömäkelvottomuudesta.

2.3.3 Kaasukoostumuksen muutokset

Pimeässä säilytettyjen perforoimattomien ja perforoitujen pussien kaasukoostumusten välillä ei havaittu suuria eroja (kuvat 10a ja 10b). Pimeässä säilytettäessä kaasukoostumus käyttäytyi kaikissa materiaaleissa samalla tavalla säilytyksen edetessä, viikon aikana happipitoisuus pieneni ja hiilidioksidipitoisuus puolestaan kasvoi. Happipitoisuus pusseissa

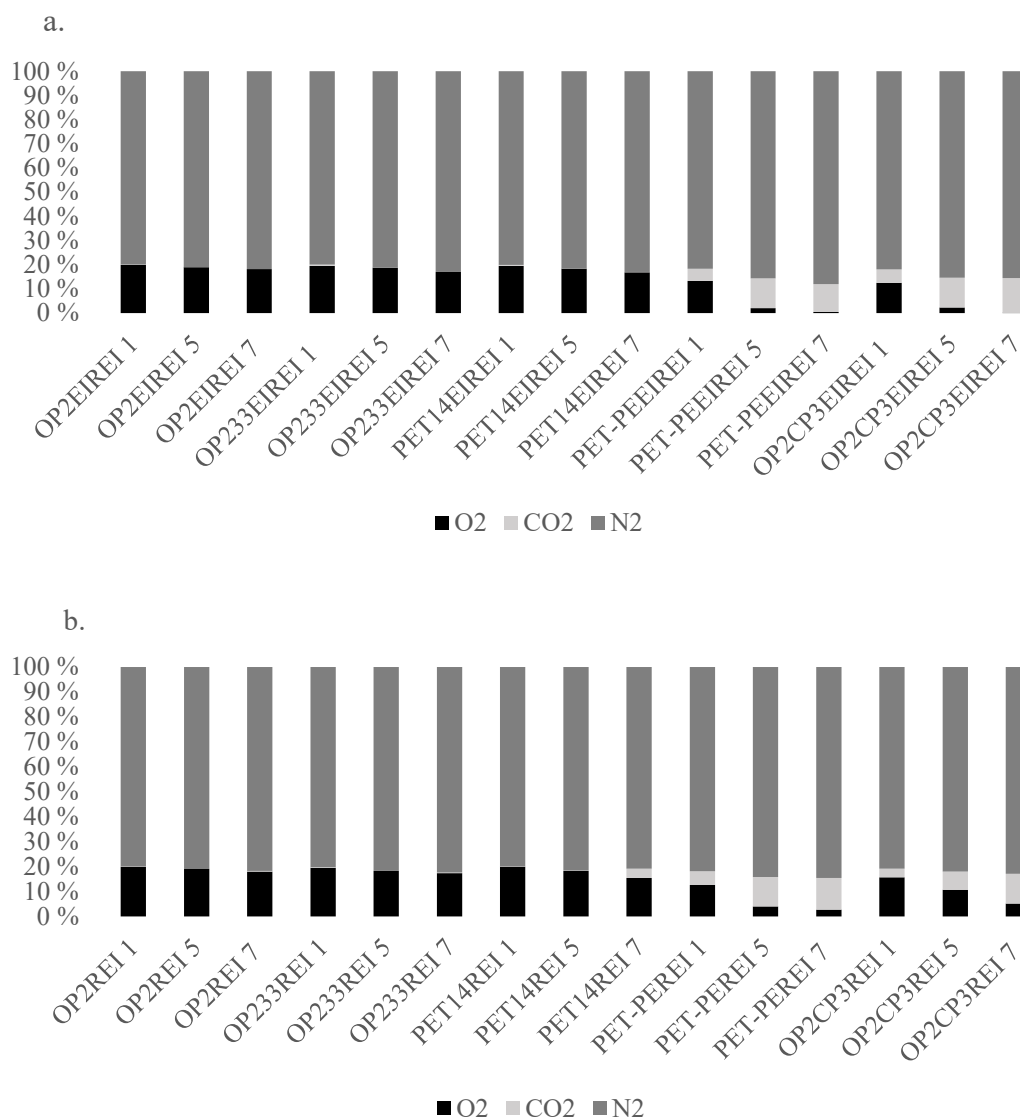
ensimmäisen päivän mittauksissa oli n. 15 % ja hiilidioksidin 3–4 %, kun seitsemännen päivän mittauksissa happea oli perforoiduissa materiaaleissa jäljellä 3–7 % ja perforoimattomissa vain 0–6 %. Hiilidioksidin pitoisuus perforoiduissa materiaaleissa seitsemäntenä mittauspäivänä oli noussut alueelle 9–15 % ja perforoimattomissa 7–15 %. Perforoimattomissa pusseissa hapen määrä oli seitsemäntenä mittauspäivänä pienempi kuin vastaavissa perforoiduissa. Kaikissa pusseissa typen osuus pysytteli 80 %:n läheisyydessä ja nousi enintään muutamia prosentteja viikon aikana.



Kuvat 10a ja 10b. Perforoimattomista (a) ja perforoiduista (b) materiaaleista valmistettujen pussien hapen (O_2), hiilidioksidin (CO_2) ja typen (N_2) määrä (%), kun pusseja säilytettiin pimeässä. Materiaalin nimen perässä oleva REI kuvaa pussin perforointia, EIREI kuvaa perforoimattomuutta ja numero mittauspäivää.

Kuvissa 11a ja 11b on esitetty loisteputken valossa säilytettyjen pussien sisältämän hapen, hiilidioksidin ja typen keskiarvot mittauspäivinä 1, 5 ja 7. Myös loisteputken valossa perforoimattomat ja perforoidut pussit käyttäytyivät keskenään samalla tavalla.

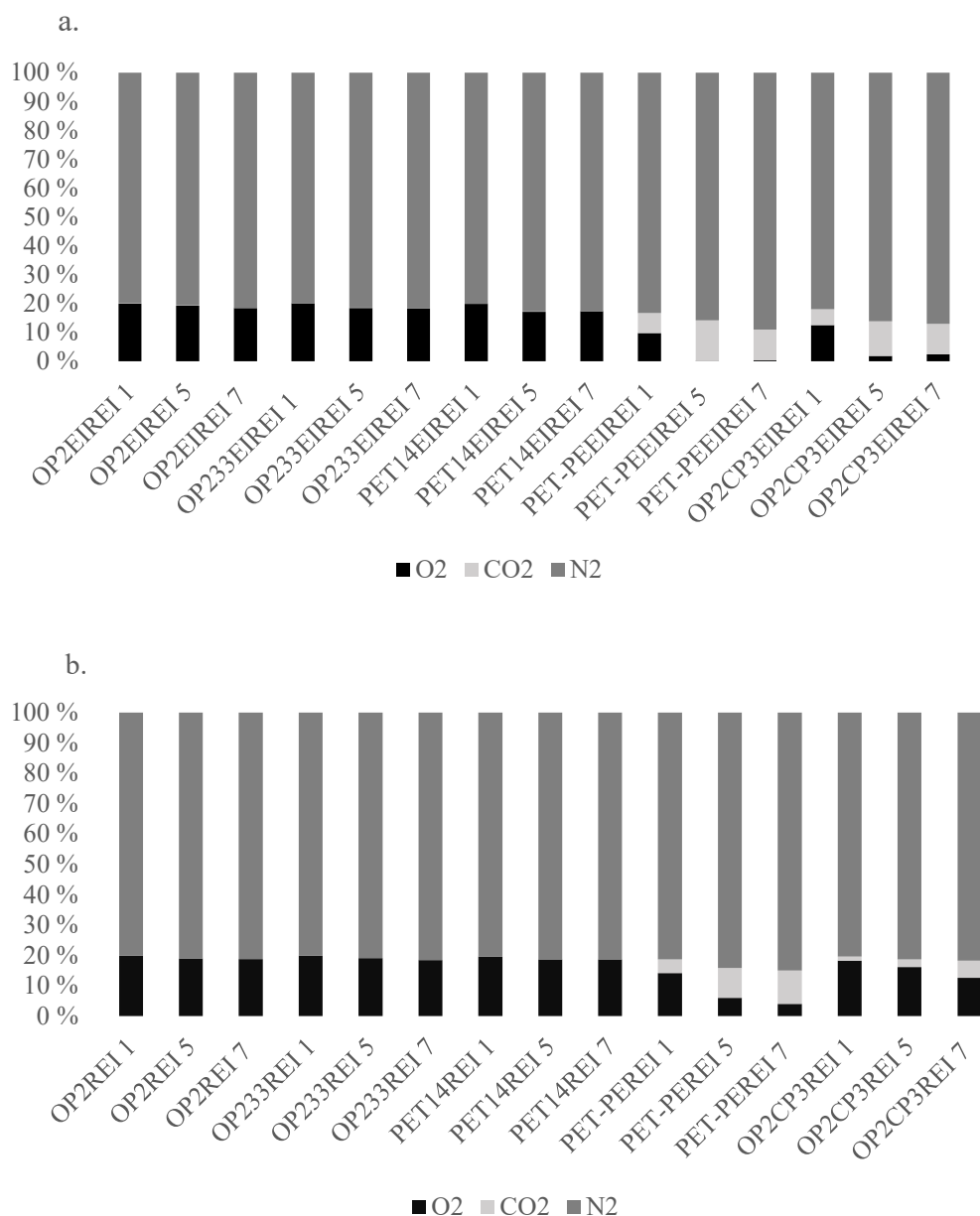
Läpinäkyvissä pusseissa (OP2, OP233 ja PET14) kaasukoostumus pysyi viikon säilytyksessä samana, eli hapen osuus oli n. 15–20 %, hiilidioksidin alle 1 % (paitsi perforoidun PET14-pussin 7. päivän mittatulos 3 %) ja typen osuus n. 80 %. Tummennetut pussit PET-PE ja OP2CP3 käyttäytyivät kuten materiaalit pimeässä (kuva 10a ja 10b), eli niissä hapen määrä laski viikon aikana lähelle olematonta ja hiilidioksidia oli lopussa yli 10 %.



Kuvat 11a ja 11b. Perforoimattomista (a) ja perforoiduista (b) materiaaleista valmistettujen pussien hapen (O_2), hiilidioksidin (CO_2) ja typen (N_2) määrä (%), kun pusseja säilytettiin loisteputken valossa viikon ajan. Materiaalin nimen perässä oleva REI kuvaa pussin perforointia, EIREI perforoimattomuutta ja numero mittauspäivää.

LED-valossa säilytetyissä perforoimattomissa ja perforoiduissa läpinäkyvissä pusseissa (OP20, OP233 ja PET14) ei ollut suuria eroja kaasukoostumuksissa, vaan niiden kaikkien koostumukset pysyivät samoina koko viikon ajan, eli happea oli n. 20 %, hiilidioksidia alle

1 % ja tyyppä n. 80 % (kuvat 12a ja 12b). Perforoimattomat ja perforoidut valoa läpäisemättömät materiaalit (PET-PE ja OP2CP3) erosivat kaasukoostumukseltaan toisistaan. Perforoimattoman PET-PE-pussin happipitoisuus oli n. 0 % jo viidennen päivän mittauksessa ja saman materiaalin perforoidussa versiossa happi ei laskenut olemattomiin edes seitsemäntenä mittauspäivänä. OP2CP3-pussissa tapahtui saman suuntainen muutos, kun perforoidun materiaalin seitsemännen päivän mittauksessa happipitoisuus oli n 12 % ja perforoimattoman laski lähelle nollaa.

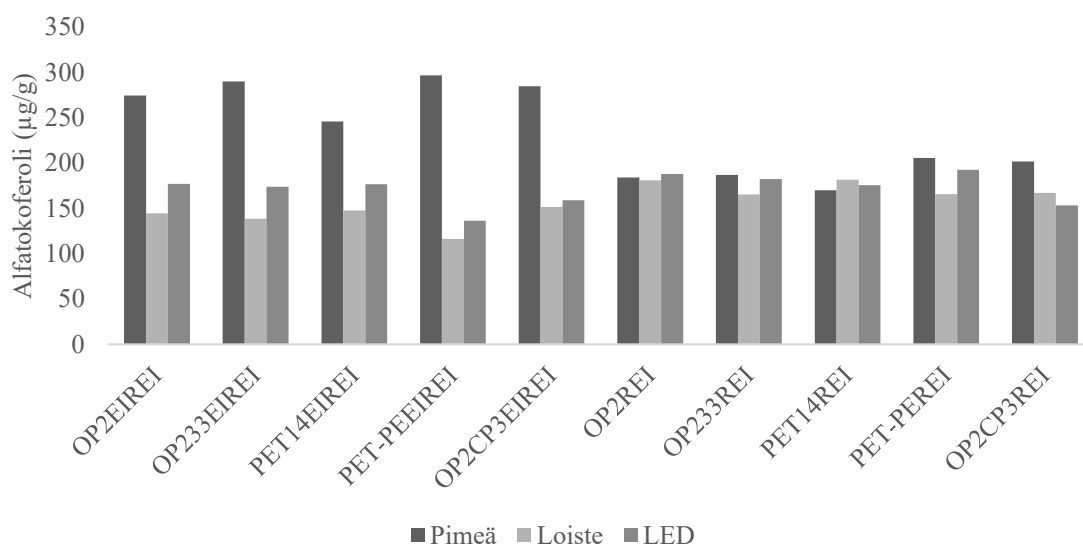


Kuvat 12a ja 12b. Perforoimattomista (a) ja perforoiduista (b) materiaaleista valmistettujen pussien hapen (O₂), hiilidioksidin (CO₂) ja typen (N₂) määrä (%) pussin sisällä, kun pusseja säilytettiin loisteputken valossa viikon ajan. Materiaalin nimen perässä oleva REI kuvaa pussin perforointia, EIREI perforoimattomuutta ja numero mittauspäivää

2.3.4 Tokoferolien mittaustulokset

Pakkaskuivatussa rucolassa havaittiin vain alfatokoferolia, joka on tokoleista tärkein, koska se on E-vitamiinin aktiivinen muoto. Perforoimattomissa pusseissa säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuuksissa oli valaistusten välillä suuremmat erot kuin perforoimattomien pussien näytteissä (kuva 13). Perforoimattomien pussien näytteiden alfatokoferolipitoisuuksissa kaikkien valaistusten väliltä löytyikin tilastollisesti merkitsevä

ero, mutta perforoiduissa pusseissa vain loistevalon ja pimeän rucolanäytteiden alfatokoferolipitoisuuksien väliltä (liite 5). Perforoimattomien materiaalien kohdalla näytteen säilytys pimeässä oli huomattavasti valaistuksia parempi vaihtoehto, sillä silloin esimerkiksi PET-PE-materiaalin sisältämän rucolan alfatokoferolipitoisuus oli melkein 300 µg/g, kun LED-valossa vastaava pitoisuus oli vain 100 µg/g.



Kuva 13. Rucolanäytteiden alfatokoferolipitoisuudet (µg/g) kuivapainoa (KP) kohden viikon säilytyksen jälkeen pimeässä, loisteputken valossa ja LED-valossa materiaaleittain. Perforoimattomat materiaalit on merkitty materiaalin nimen perään lyhenteellä EIREI ja perforoidut lyhenteellä REI.

Perforoimattomien pussien rucolanäytteiden alfatokoferolipitoisuus on suurin pimeässä, mutta vastaavasti perforoiduilla pusseilla kaikkien valaistusten tulokset ovat hyvin samalla tasolla. Kuitenkin LED-valossa ja loisteputken valossa säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuudet olivat hieman suurempia perforoiduissa kuin perforoimattomissa pusseissa. Perforoimattomissa pusseissa loistevalossa näytteiden alfatokoferolipitoisuus oli suurempi kuin LED-valossa, mutta perforoitujen pussien näytteissä samanlaista eroa ei ollut havaittavissa.

Perforoidut materiaalit ilmentävät selkeämmin vain valaistuksen vaikutusta näytteisiin, joten niiden tilastollisesti merkitseviä eroja tarkasteltiin tarkemmin varianssianalyysillä. OP20-pusseissa säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuuksissa oli tilastollinen ero vain loiste- ja LED-valojen välillä (liite 6). OP233-pussien näytteissä oli tilastollisesti merkitsevä ero loiste- ja LED-valon välillä sekä loistevalon ja pimeän välillä. PET14-pussien näytteillä oli merkitsevä ero loistevalon ja pimeän välillä. Tummennetuissa OP2CP3- ja PET-PE-pusseissa näytteiden alfatokoferolipitoisuuksissa oli merkitsevä ero kaikkien valaistuksien välillä.

2.4 Pohdinta

2.4.1 Valaistuksen vaikutus

Rucolanäytteet säilyivät parhaiten pimeässä. Valaistus nopeutti näytteiden aistinvaraisen laadun heikkenemistä ja johti pienempiin alfatokoferolipitoisuuksiin. Valaistusten vaikutusten edut ja haitat huomioon ottaen (taulukko 7), olisi pimeä säilytysolosuhteista paras ja loistevalo huonoin vaihtoehto rucolan varastointiin, mutta loistevalon ja LED-valon vaikutusten välillä ei ole suuria eroja.

Taulukko 7. Päätulokset käytettyjen valaistusolosuhteiden (pimeä, LED-valo, loistevalo) vaikutuksesta pakatun rucola painoon, kaasukoostumukseen, väriin, hajuun, rakenteeseen ja alfatokoferolipitoisuuteen. Edut on merkitty merkillä + ja haitat merkillä -.

	Pimeä	LED-valo	Loistevalo
Paino	+ Väheni viikossa todella vähän	+ Väheni viikossa vähän - Vaikutti eniten: suurimmat painon häviöt monien materiaalien näytteissä ja ainoa, jossa materiaalien välillä merkitseviä eroja	+ Väheni viikossa tosi vähän
Kaasu-koostumus	+ Happipitoisuus laski ja hiilidioksidipitoisuus nousi	- Läpinäkyvien pussien korkea happipitoisuus ja matala hiilidioksidipitoisuus	- Läpinäkyvien pussien korkea happipitoisuus ja matala hiilidioksidipitoisuus
Väri	+ Säilytti tasaisen vihreänä	- Paljon keltaisia ja vaalentuneita lehtiä	- Paljon keltaisia ja vaalentuneita lehtiä
Haju	+ Hyväksyttävä	+ Hyväksyttävä	+ Hyväksyttävä
Rakenne	+ Iso osa näytteistä hyväksyttäviä, kuivahkoja - Osa näytteistä liian kuivia	+ Iso osa näytteistä hyväksyttäviä, kosteahkoja - Osa näytteistä liian kosteita	+ Iso osa näytteistä hyväksyttäviä, kosteahkoja - Osa näytteistä liian kosteita
α -tokoferolipitoisuus	+ Suurimmat alfatokoferolipitoisuudet - Vaikea toteuttaa käytännössä säilytyksessä	+ Toiseksi suurimmat alfatokoferolipitoisuudet	- Pienimät alfatokoferolipitoisuudet

Valaistus ei vaikuttanut painoon

Rucolan painossa ei tapahtunut suuria muutoksia viikon säilytyksen aikana, sillä painohäviö oli suurimmillaankin vain 1,87 %. Valaistus ei muuttanut rucolan painoa säilytyksen aikana, sillä missään tietyssä valaistuksessa rucolan paino ei muuttunut merkittävästi muihin valaistusolosuhteisiin verrattuna. Kun materiaaleja ei huomioitu, ei valaistusten välillä tilastollisesti merkitseviä eroja havaittu. Materiaalit huomioitaessa tilastollisesti merkitseviä eroja havaittiin LED-valossa eri materiaaleissa säilytettyjen näytteiden välillä, eli LED-valo

vaikutti kuitenkin pimeää ja loistevaloa enemmän näytteiden painoihin. Tuorepainon säilyminen on hyvä tulos, sillä tuoreiden lehtivihannesten vesipitoisuuden ylläpitäminen on yksi tärkeimmistä tuoreiden ja laadun määrittävistä ominaisuuksista (Lee ja Chandra 2018).

Rucolan paino aleni seitsemän päivän säilytyksen aikana riippuen materiaalista pimeässä 0,27–0,81 %, loisteputken valossa 0,20–0,60 % ja LED-valossa 0,23–1,87 %. Samoin Martinez-Sanchezin ym. (2011) tutkimuksessa painohäviöt olivat korkean ilmankosteuden takia yhtä pieniä. Noichindan ym. (2006) tutkimuksessa kiinankaalin vastaavat lukemat ovat kymmenen päivän säilytyksen jälkeen pimeässä 1,8 % ja valaistuksessa 3,9 %, eli huomattavasti suuremmat kuin rucolalla. Vihannesten suuremman painohäviön on havaittu olevan yhteydessä valaistukseen, sillä valossa lehtien ilmaraot aukeavat ja vesihöyryä haihtuu enemmän kuin pimeässä (Noichinda ym. 2006, Olarte ym. 2009). Rucolan painossa valaistuksella ei havaittu samanlaista vaikutusta painoon.

Kun korkean kosteuspitoisuuden elintarviketta säilytetään viileässä, lämpötila laskee ja aiheuttaa vesihöyryn kondensoitumista pakkausmateriaalin pinnalle. Tässä tutkimuksessa rucolat punnittiin pusseissaan, eli myös pussin pintaan kondensoituneiden vesipisaroiden paino huomioitiin. Tämä voi olla syynä pieneen painohäviöön. Osassa materiaaleista (OP233, PET14 ja OP2CP3) oli käytetty huurteenestosuojaa, eikä niiden pintaan kertynyt yhtä paljon silmin havaittavaa kondenssivettä kuin referenssin, eli OP20-pussin pintaan. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut eroja näytteiden painoissa.

Valaistus vaalensi ja kellastutti rucolan lehtien väriä

Odotetusti rucolan väri vaaleni viikon säilytyksen aikana. Eniten vaalenemista ja kellastumista tapahtui valaistuksissa säilytetyille näytteille. Värimittarilla mitatut näytteiden värierot ensimmäisen ja seitsemännen mittauspäivän välillä olivat todella suuria, sillä mitattavat lehdet valittiin pussin yläpinnalta, joten vain eniten valoa saaneet lehdet päätyivät mittaukseen. Perforoiduissa näytteissä tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin LED-valon ja pimeän sekä loistevalon ja pimeän välillä. Juuri valaistus vaikutti rucolan väriin, koska pimeässä tilastollisesti merkitseviä eroja värierossa ei muodostunut eri materiaalien välille, mutta LED-valossa ja loisteputken valossa materiaalien välisiä eroja alkoi ilmetä, eli esim. materiaalin valonläpäisevyys alkoi vaikuttaa.

Valaistus vaikutti näytteiden väriin ja värieroon senkin perusteella, että sekä perforoidun että perforoimattoman OP233-pussin rucolanäytteen värieron (ΔE) pimeässä säilytettäessä oli tuskin silmin havaittava, mutta LED-valossa ja loisteputken valossa säilytettäessä OP233-

pussien näytteiden värierot oli selkeästi silmin havaittava. Nämä näytteet oli myös sanallisesti kuvailtu muita selkeästi vaaleammiksi. Valaistuksen vaikutus tuli esille erityisesti perforoitujen pussien näytteissä, joissa värierot olivat selkeästi pienempiä pimeässä kuin valaistuksessa säilytetyillä näytteillä. Samoin Martinez-Sanchez ym. (2011) havaitsivat valaistuksessa säilytettyjen näytteiden värierojen (ΔE) olevan suurempia kuin pimeässä säilytettyjen.

Aistinvaraisten arviointien perusteella pimeässä säilytettyjen näytteiden värin havaittiin pysyneen parhaiten tasaisen vihreänä ilman keltaisia lehtiä. Vastaavaan tulokseen ovat päätyneet myös Glowacz ym. (2014) ja Martinez-Sanchez ym. (2011) tutkiessaan pinaattia ja roomansalaattia. Värinmittauksessa pimeässä säilytettyjen näytteiden väri ei muuttunut viikon aikana huomattavasti, kun taas valaistuksessa säilytetty näytteet olivat vaaleampia ja keltaisempia. Nämä tulokset vastaavat Glowaczin ym. (2014) saamia tuloksia valaistuksen vaikutuksesta pinaatin väriin. Myös muut aistinvaraiset arviot, kuten rakenne, olivat pimeässä säilytetyille näytteille paremmat, minkä myös Martinez-Sanchez ym. (2011) havaitsivat roomansalaattia tutkiessaan. Näiden tulosten yhteensopivuuden perustella voidaan olettaa, että rucolan tulokset ovat yleistettävissä muihin vihreisiin lehtivihanneksiin.

Valaistus säilytti pussien alkuperäisen kaasukoostumuksen

Rucolanäytteiden kaasukoostumus vaihteli riippuen valaistuksesta ja käytetystä pakkausmateriaalista. Kaikissa materiaaleissa oli aluksi kaasukoostumuksena ilmankoostumus (21 % O₂ ja 78 % N₂), koska suojakaasuja ei käytetty. Pimeässä säilytettyjen näytteiden happipitoisuus laski ja hiilidioksidipitoisuus nousi viikon säilytyksen aikana, kun taas valaistuksessa säilytettyjen näytteiden happipitoisuus pysyi koko ajan korkeana ja hiilidioksidipitoisuus olemattomana. Valaistuksessa säilytetyt valoa läpäisemättömät pussit saivat vastaavat tulokset kuin pimeässä säilytetyt pussit. Myös Glowacz ym. (2014) ja Martinez-Sanchez ym. (2011) havaitsivat valaistuksen säilyttävän pussien sisäiseen kaasukoostumuksen.

Valaistuksessa fotosynteesi kiihtyy, jolloin hiilidioksidia kuluu ja hapetta muodostuu, joten soluhengitys kiihtyy hapen korkean määrän takia. Vilkas soluhengitys ja hapelliset olosuhteet puolestaan ovat yhteydessä vihanneksen nopeaan pilaantumiseen (Ahvenainen-Rantala 2007). Vihreitä vihanneksia pakattaessa, suositellaan pakkauksen hiilidioksidipitoisuudeksi 5–10% ja happipitoisuudeksi 1–3 %, koska nämä olosuhteet estävät tehokkaasti vihanneksen laadun heikkenemistä (Saltveit 1997). Pimeässä

säilytettyjen perforoimattomien ja perforoitujen pussien kaasukoostumus seitsemäntenä päivänä vastasi Saltveit'n (1997) suositusta pakkauksen kaasupitoisuuksista. Valaistuksissa säilytettäessä vain tummista materiaaleista valmistettujen pussien kaasukoostumus vastasi suosituksia. Kaasukoostumus onkin voinut olla yksi vaikuttavista tekijöistä siihen, että useimmat pimeässä säilytetyt näytteet sekä valaistuksessa tummissa materiaaleissa säilytetyt näytteet saivat hyviä tuloksia niin laadun kuin tokoferolipitoisuuksienkin suhteen. Valaistus ja korkea happipitoisuus (n. 20 %) olivat yhteydessä rucolanäytteiden nopeampaan laadun menetykseen, kuten myös Martinez-Sanchez ym. (2011) havaitsivat. Valaistuksessa säilyttäessä on eduksi, jos materiaalin valonläpäisevyyttä on rajoitettu.

Valaistuksen vaikutus alfatokoferolin säilymiseen

Alfatokoferolipitoisuus oli pimeässä säilytetyissä näytteissä suurempi kuin loisteputken valossa tai LED-valossa säilytetyissä näytteissä. Pimeässä perforoimattomissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuus nousi osassa näytteitä melkein 300 µg/g asti, kun LED-valossa samassa materiaalissa säilytettyjen näytteiden tulokset jäivät hieman 100 µg/g yläpuolelle.

Kun erilaisia materiaaleja ei huomioitu analyysihin mukaan, havaittiin näytteiden alfatokoferolipitoisuudessa tilastollisesti merkitsevä ero kaikkien perforoimattomien pussien valaistuksien välillä. Perforoiduissa materiaaleissa vain loistevalossa ja pimeässä säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuudet erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Kun perforoimattomia materiaaleja tarkasteltiin syvemmin, havaittiin OP20-pusseissa säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuuksissa tilastollinen ero vain loiste- ja LED-valojen välillä ja OP233-pussien näytteissä tilastollisesti merkitsevä ero loiste- ja LED-valon välillä sekä loistevalon ja pimeän välillä. PET14-pussien näytteillä oli puolestaan merkitsevä ero loistevalon ja pimeän välillä. Tummennettujen OP2CP3- ja PET-PE-pussien näytteiden alfatokoferolipitoisuudessa oli merkitsevä ero kaikkien valaistuksien välillä.

Lester ym. (2010) havaitsivat pinaatin alfatokoferolien säilyvän paremmin valaistuksessa kuin pimeässä. Heidän käyttämänsä valaistuksen intensiteetti ($26,9 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) oli kuitenkin huomattavasti tämän tutkimuksen valojen intensiteettejä alhaisempi.

Pimeässä säilytetyissä rucolanäytteissä alfatokoferolipitoisuus tuorepinoa kohden laskettuna oli 1,9–4,2 mg/100 g, loistevalossa 1,5–2,3 mg/100 g ja LED-valossa 1,4–2,2 mg/100 g. Nämä pitoisuudet ovat kaikki huomattavasti suurempia kuin rucolalle ilmoitettu arvo 0,4 mg/100 g (Fineli 2019, U.S. Department of Agriculture, FoodData Central, 2019).

Australiassa koostumustietopankissa rucolan alfatokoferolipitoisuudeksi on kuitenkin ilmoitettu 1,3 mg/100 g, mikä on samaa luokkaa kuin tämän tutkimuksen tulosten kanssa (Australian Food Composition Database, 2019). Tutkimuksessa käytetty rucola oli hyvin tuoretta ja saatiin suoraan maahantuojalta, mikä on voinut olla syynä suuriin alfatokoferolipitoisuuksiin.

Valaistuksien intensiteeteillä ei ollut vaikutusta

LED-valo ja loisteputken valo vaalensivat molemmat rucolan väriä ja niissä molemmissa tokoferolipitoisuus pysyi samana. Jin ym. (2015) puolestaan havaitsivat parsakaalia tutkiessaan, että LED-valo säilytti näytteiden laadun pimeää ja fluoresoivaa valoa paremmin ja että fluoresoiva valo säilytti näytteiden laadun pimeässä säilytystä paremmin. Rucolan säilytyksessä käytetyt valaistukset olivat intensiteetiltään huomattavasti voimakkaampia (65 ja 125 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) kuin Jinin ym. (2015) tutkimuksessa (12–13 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$). Tämä voi olla syynä siihen, ettei rucolaa tutkittaessa havaittu eroja LED- ja loistevalon vaikutusten välillä, sillä valon intensiteetin olisi pitänyt olla huomattavasti alhaisempi, jotta se olisi säilyttänyt näytteiden laadun paremmin kuten Jin ym. (2015) tutkimuksessa.

2.4.2 Materiaalin vaikutus

Materiaali ei vaikuttanut rucolan ominaisuuksiin yhtä selkeästi kuin valaistus. Varsinkaan pakkausmuovin laadulla ei suoraan ollut vaikutusta rucolan laadun muutoksiin, mutta materiaalin läpinäkyvyydellä ja perforoinnilla oli (taulukko 8). Materiaalien alhainen valonläpäisevyys auttoi säilyttämään rucolan väriä ja rakennetta ja perforointi väriä, hajua ja alfatokoferolipitoisuutta. Yleisesti parhaiten rucolan laadun säilytti OP2CP3-materiaali, koska siinä säilytetyt näytteet eivät olleet missään mitatussa ominaisuudessa muiden pussien näytteitä huonompia, vaan siinä säilytetyt näytteet saivat kaikissa valaistuksissa hyviä arvoja.

Taulukko 8. Materiaalien ominaisuuksien (laatu, läpinäkyvyys, perforointi) vaikutukset pakatun rucolan painoon, kaasukoostumukseen, väriin, hajuun, rakenteeseen ja alfatokoferolipitoisuuteen.

	Laatu	Läpinäkyvyys	Perforointi
Paino	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta
	Huurteenesto ei vaikuttanut		
Kaasukoostumus	Ei vaikutusta	Tummuus vaikutti	Ei vaikutusta
Väri	OP2CP3-materiaali säilytti hyvin	Tummennetut materiaalit säilyttivät hyvin	Säilytti hyvin
Haju	PET14 ja PET-PE-pusseissa haju pysyi voimakkaimpana ja OP20 miedoimpana	Ei vaikutusta	Säilytti näytteen hyvin
Rakenne	OP2CP3-pussi säilytti parhaiten, OP20-pussi säilytti huonoiten	Läpinäkyvien näytteet kosteita ja tummennettujen kuivia	Ei vaikutusta
α -tokoferolipitoisuus	Suurimmat tulokset: perforoimaton OP2CP3 ja perforoitu OP20	Ei vaikutusta	Suurimmat tulokset: perforoimattomien pussien näytteille pimeässä, perforoitujen pussien näytteille valossa

Huurteenestosuoja vaikutti pussin ulkonäköön

Muovipakkauksissa voidaan käyttää huurteenestokäsittelyä (engl. antifog), joka parantaa mikrobiologista säilyvyyttä, kun pakkaukseen ei muodostu korkean aw:n (veden aktiivisuus) alueita, joilla mikrobien kasvu voisi erityisesti kiihtyä. Pakkaus ja tuote näyttävät myös siistimmiltä, kun muovipinta ei ole täynnä pieniä vesipisaroita. Osassa tutkimuksen materiaaleista oli käytetty huurteenestosuojaa ja näistä materiaaleista valmistetut pussit näyttivät muita paremmilta, koska materiaalin pintaan ei kondensoitunut yhtä paljon vettä. OP233-, PET14- ja OP2CP3-materiaaleissa oli huurteenestosuoja, mutta painohäviö oli muiden materiaalien näytteitä vastaavaa, joten huurteenestosuoja ei vaikuttanut painon muutokseen. Materiaalit olivat kuitenkin olleet varastossa pitkän aikaa, joten niiden huurteenestosuoja oli saattanut heikentyä. Tätä teoriaa puoltaa myös se, että säilyvyydestin aikana pusseja silmin tarkasteltaessa myös näissä huurteenestosuojaa sisältävien materiaalien pusseissa havaittiin selkeästi kondensoitunutta vettä pussin pinnalla, mutta ei yhtä paljoa kuin muissa materiaaleissa. Normaalisti huurteenestokäsittely vähentää haihtuvan veden pisaroitumista kalvon sisäpintaan, jolloin myös painohäviö pienenee (Lee ja Chandra 2018). Huurteenestosuojan on havaittu selkeästi hidastavan salaatin vesipitoisuuden alenemista säilytyksen aikana (Lee ja Chandra 2018).

Perforointi ei vaikuttanut painoon, mutta se vaikutti aistittavaan laatuun

Perforoimattomien ja perforoitujen materiaalien näytteiden välillä ei havaittu eroa painon muutoksessa viikon aikana. Lee ja Chandra (2018) havaitsivat salaattien painon muutoksen olevan suurempaa säilytettäessä perforoiduissa materiaaleissa (säilytys 10 °C), jolloin vettä pääsi haihtumaan enemmän. Tässä tutkimuksessa näytteiden säilytyslämpötila oli kuitenkin puolet matalampi (5 °C), eli vettä ei haihtunut yhtä paljoa, ja perforoinnin reiät olivat pieniä ja niitä oli harvassa, minkä takia rucolan paino ei muuttunut paljoa.

Aistinvaraisten arviontien perusteella rucolan haju, väri, ulkonäkö ja rakenne säilyivät kaikista parhaiten pimeässä perforoiduissa pusseissa säilytettäessä. Pimeässä säilytettyjen perforoitujen ja perforoimattomien pussien näytteiden välillä ei havaittu eroja, mutta valaistuksessa perforoiduissa pusseissa säilytettyjen näytteiden värierot olivat suurempia, kuin perforoimattomien pussien näytteiden. Varsinkin loistevalossa rucolan väri säilyi paremmin perforoimattomissa pusseissa säilytettäessä. Myös Lee ja Chandra (2018) havaitsivat salaatin värieron olevan pienempi perforoimattomissa pusseissa säilytettäessä.

Perforointi ei vaikuttanut kaasukoostumukseen

Perforoiduissa materiaaleissa kaasut pääsivät vaihtumaan vapaammin kuin perforoimattomissa pusseissa, joissa muodostui passiivinen suojakaasu rucolan oman soluhengityksen kautta. Perforoimattomien pussien kaasukoostumus onkin seurausta tasapainosta fotosynteesin ja hengityksen sekä pakkausmateriaalin kaasujen läpäisevyyden välillä. Tässä tutkimuksessa perforoiduissa materiaaleissa reikiä oli vain yksi per pussi ja sekin oli hyvin pieni, eli se oli mikroperforoitu, joten kaasukoostumusten tulokset eivät eronneet suuresti perforoimattomista materiaaleista. Vastaavia tuloksia saivat myös Lee ja Chandra (2018), joiden tutkimuksesta käy ilmi, että mikroperforoitu materiaali, jossa on vähän pieniä reikiä, on kaasukoostumukseltaan enemmän perforoimattoman kaltainen kuin makroperforoidun, jossa on paljon suuria reikiä. Mikroperforointi on läpäisevyyden hienosäätöä, kun taas makroperforoinnilla varmistetaan kaasujen kunnollinen vaihtuvuus.

Perforointi vaikutti eniten alfatokoferolipitoisuuteen pimeässä

Alfatokoferolipitoisuuksissa oli valaistusten välillä eroja sekä perforoiduissa että perforoimattomissa materiaaleissa säilytetyillä näytteillä. Perforoimattomissa pusseissa säilytetyissä näytteissä alfatokoferolipitoisuudet olivat pimeässä suuremmat kuin

valaistuksissa ja valaistuksessa säilytetyissä näytteissä pitoisuudet puolestaan olivat suurempia perforoiduissa pusseissa. Valaistuksissa säilytettyjen näytteiden erot perforoitujen ja perforoimattomien materiaalien välillä olivat kuitenkin pieniä. Perforointi vaikutti siis eniten pimeässä säilytettyihin näytteisiin, koska pimeässä perforoimattomien pussien näytteiden alfatokoferolipitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin perforoitujen pussien näytteiden.

Materiaalin vaikutus rucolan aistittavaan laatuun

Kun valaistusta ei huomioitu värierojen analyysissä, tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi myös materiaalien väliltä. Merkitsevästi toisistaan värieron suhteen erosivat rucolanäytteet materiaaleissa OP20 ja OP2CP3, OP233 ja PET-PE sekä OP233 ja OP2CP3. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei löytynyt läpinäkyvien materiaalien näytteiden väliltä, vaan ainoastaan läpinäkyvien ja tummien materiaalien näytteiden väliltä, joten materiaalin valonläpäisevyys vaikutti tuloksiin. Vaikka PET14-materiaali oli läpinäkyvää, siinä säilytetyt näytteet eivät eronneet tilastollisesti tummista tai läpinäkyvien pussien näytteistä. Tähän on saattanut vaikuttaa se, että siinä oli muista läpinäkyvistä materiaaleista poiketen UV-suojaa, eli se suojasi valolta aallonpituuksilla 100–380 nm. Erityisesti UVB-säteilyn on havaittu olevan haitaksi vihanneksille (Galgado ym. 2017), minkä takia PET14 saattaakin olla muita käytettyjä läpinäkyviä materiaaleja parempi pakkausmateriaaliksi rucolan värin säilyttämiseen.

Pimeässä säilytettyjen materiaalien näytteiden välillä ei ollut merkitseviä eroja värieroissa, mutta valaistuksessa materiaalien vaikutus näkyi enemmän. Tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi LED-valon sisällä OP233-pussin näytteen ja kaikkien muiden materiaalien näytteiden väliltä. Myös loisteputken valossa useiden materiaalien näytteiden välillä oli eroja. LED-valossa merkitsevästi muista eroava OP233-pussin näytteen oli myös sanallisesti kuvailtu olevan muita selkeästi vaaleampaa, mikä tukee tulosta eroavuudesta. Valaistus vaikutti osaan eri materiaalien näytteistä enemmän kuin toisiin, ja varsinkin OP233-materiaalin näyte sai hyvin erilaisia värieron arvoja pimeässä ja valaistuksessa. OP233-pussin rucolanäyte sai pimeässä säilytettäessä tuskin havaittavan eron, mutta valaistuksissa säilytettäessä ero oli selkeästi silmin havaittava.

Myös aistinvaraisessa tarkastelussa eri materiaaleissa säilytetyiden näytteiden välillä havaittiin eroja. Rakenteeltaan läpinäkyvien materiaalien (OP20, OP233 ja PET14) näytteet arvioitiin kaikissa valaistuksissa kosteiksi tai kosteahkoiksi, mutta osittain peittävän

OP2CP3-materiaalin ja peittävän PET-PE-materiaalin näytteet arvioitiin kuviksi tai kuivahkoiksi kaikissa valaistuksissa. Varsinkin OP20-materiaalissa säilytetty rucola koettiin todella kosteaksi ja lytistyneeksi, riippumatta perforoinnista ja valaistuksesta. Yleisesti parhaimmat arviot rakenteesta sai musta PET-PE-materiaali. Kaikissa valaistuksissa PET-PE- ja OP2CP3-materiaalien näytteiden väri arvioitiin selkeästi useammin tasaisen vihreäksi kuin läpinäkyvien muovien (OP20, OP233, PET14) näytteiden väri. PET-PE materiaaleissa säilytetyt näytteet koettiin usein voimakkaimman hajuisiksi ja OP20 materiaalien näytteet puolestaan miedoimmiksi. Hajultaan epämiellyttävät näytteet oli kaikki säilytetty PET- ja PE-muoveista valmistetuissa pusseissa, joten käytetyistä muoveista nämä aiheuttivat nopeimmin haittahajuja rucolaan. Nämä epämiellyttävältä haisevat näytteet oli myös säilytetty perforoimattomissa pusseissa ja niissä oli tummuneita lehtiä seassa.

2.4.3 Tutkimustulosten luotettavuuden arviointi

Näytteiden valmistus ja käsittely

Näytteitä käsiteltäessä ja pakattaessa huomioitiin hygieniä ja toistettavuus. Ennen näytteiden pakkaamista ne säilytettiin jääkaappia vastaavissa lämpötiloissa. Saapuvassa rucolassa oli hieman vaihtelua ja epätasalaatuisuutta, sillä osassa oli seassa enemmän huonolaatuisempia lehtiä kuin toisissa. Huonolaatuiset lehdet pyrittiin poistamaan ennen pussitusta. Muutamassa näytteessä oli seitsemäntenä mittauspäivänä todella tummuneita limaisia kohtia ja yhdessä homeinen kohta, mikä voi viitata kontaminaatioon tai pussiin vahingossa päätyneeseen valmiiksi pilaantuneeseen materiaaliin. Pakkausmateriaalit olivat olleet pitkään varastossa, joten niiden huurteenestosuoja oli saattanut vanhentua, eikä siksi toiminut niin hyvin.

Näytteet punnittiin aina samalla tavalla, käytetty vaaka oli aina sama ja sille tehtiin päivittäisseurantaa. Eroja on saattanut kuitenkin syntyä, koska kaksi eri henkilöä pakkasivat rucolaa säilyvyystestejä varten pusseihin ja saattoivat käyttää hieman eri tekniikkaa. Saumauksen jälkeen tarkistettiin, ettei pussien saumoissa näkynyt ilmaa tai rucolan lehtiä välissä. Ensimmäisenä säilyvyystestiin laitetut pimeässä säilytetyt perforoimattomat pussit olivat kuitenkin saumaukseltaan heikompa, koska sen jälkeen havaittiin parempi tyyli saumata pusseja.

Mittauspäivinä on myös voinut tapahtua inhimillisiä virheitä. Perforoitu OP2CP3-materiaali käyttäytyi LED-valossa muista poiketen, sillä siinä säilytettäessä rucolan painon nousi

keskimäärin 1,64 % viikon säilytyksen aikana. Samassa materiaalissa säilytetyn näytteen paino kuitenkin aleni viidennen päivän mittauksissa, joten seitsemännen päivän mittauksessa tai tuotteen punnitus vaiheessa aloituspäivänä on saattanut käydä jokin virhe tai myös vaa'an tarkkuus on voinut vaikuttaa.

Säilyvyydestin luotettavuus

Säilyvyydesti suoritettiin kaikille näytteille samalla tavalla ja lyhyen ajanjakson sisään. Näytteitä pyrittiin suojaamaan valaistukselta ennen olosuhdekaappiin asettamista, jotta niihin vaikuttaisi vain haluttu valaistus. Olosuhteita pyrittiin kontrolloimaan, ja kaapissa lämpötila ja kosteus pysyivätkin toivotulla välillä. Mittauspäivinä toimittiin ripeästi, jotta olosuhdekaapin lämpötila tai kosteus ei pääsisi muuttumaan.

Olosuhdekaapin koon ja suuren näytemäärän takia pussit piti laittaa säilytyksen ajaksi hieman limittäin ja osittain päällekkäin, jolloin on mahdollista, etteivät kaikki pussit saaneet koko aikaa yhtä paljon valoa. Ensimmäisen mittauspäivän jälkeen näytteiden määrä kaapissa kuitenkin väheni, jolloin ne saatiin aseteltua paremmin. Valaistuksen voimakkuuden havaittiin myös eroavan hieman kaapin etuosan ja takaosan välillä, mikä on voinut vaikuttaa tuloksiin. Martinez-Sanchez ym. (2011) havaitsivat kaasukoostumuksessa olleen eroja pussin paikan mukaan, sillä edessä olleilla happipitoisuus oli korkeampi kuin takana olleilla pusseilla.

Instrumentaalisten mittausten luotettavuus

Rucolan värin mittaamista värimittarilla vaikeutti se, että osa lehdistä oli niin pieniä ja kapeita, että osaan mittauksista tuli kaikesta huolimatta mukaan keltainen lehtirunko. Tämä saattoi lisätä tulosta vaaleudesta ja keltaisuudesta. Värimittauksessa mitataan kyseisen pinta-alan keskiarvoa, joten epäsäännölliset värivirheet keskiarvoistuvat näissä mittauksissa, eivätkä esimerkiksi vain reunoilla tai muuten harvakseltaan esiintyvät virheet tule mukaan mittaukseen. Tämän vaikutusta vähennettiin kuvaamalla kaikki näytteet ja kuvailemalla näytteitä myös sanallisesti. Lehtiä myös mitattiin 85 g:n kokoisesta pussista vain viisi ja ne valittiin tarkoituksella pussin päältä, jotta ne olisivat altistuneet valolle. Tämä tulos ei siis kuvaa koko pussin keskiarvoista väriä, vaan niiden pinnalla lähimpänä valoa olevien lehtien, jotka olivat usein alempia lehtiä vaaleampia tai keltaisempia.

Tutkimuksessa pyrittiin käyttämään aina samoja laitteita, mutta aina se ei ollut mahdollista. Eri pakkaskuivaimet toimivat hieman eri tehoilla, joten tällä on voinut olla vaikutusta vitamiininäytteiden pakkaskuivaamiseen.

Aistinvaraisten huomioiden luotettavuus

Sama henkilö suoritti aistinvaraiset huomiot jokaisena mittauspäivänä samoilla perusteilla. Aistinvaraisten tulosten luotettavuutta ja tieteellisyyttä vähensi se, että raatina toimi vain yksi henkilö. Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa myös ennakko-odotuksista johtuva virhe, eli seitsemännen mittauspäivän näytteiden on voitu jo valmiiksi olevan kellastuneempia kuin aiempien päivien näytteet. Arviointia vaikeutti se, ettei seitsemännen päivän mittauksissa ollut vertailukohteena ensimmäisen mittauspäivän näytteitä, vaan toimittiin muistin ja valokuvien perusteella. Tueksi jokaisella mittauskerralla valittiin värilaatoista rucolaa parhaiten kuvaava väri. Välillä näytteiden seassa oli todella tummia ja pilaantuneita lehtiä, jolloin oli vaikeaa tietää, oliko näyte pilaantunut säilytyksen aikana vai oliko jo valmiiksi pilaantunut tai vioittunut lehti päätynyt näytteen sekaan pakkauspäivänä. Saatujen tulosten perusteella voitaisiin kuitenkin valita jatkotutkimuksiin tietyt materiaalit tai valaistukset.

3 PÄÄTELMÄT

Valo heikensi rucolan aistinvaraista laatua, mutta valaistuksen intensiteetillä (loistevalo 65 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ ja LED-valo 125 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$) ei havaittu vaikutusta. Rucolan ravitsemuksellinen ja aistinvarainen laatu säilyivät parhaiten pimeässä tai valaistuksessa valoa läpäisemättömissä pusseissa, sillä LED- ja loisteputken valossa säilytetyt näytteet vaalentuivat ja kellertyivät nopeammin ja olivat rakenteeltaan huonompia. Myöskin värierö (ΔE), eli värin muutos ensimmäisen ja seitsemännen päivän mittausten välillä oli pienintä pimeässä säilytetyissä näytteissä. Valaistuksen aikaansaama korkea happipitoisuus pusseissa yhdistettiin rucolan nopeampaan laadun heikkenemiseen. Pimeässä pussien kaasukoostumus pysyi alueella, jota suositellaan vihreiden vihannesten varastointiin (CO_2 : 5–10 %, O_2 : 1–3 %). Rucolan paino väheni viikon säilytyksen kaikissa valaistuksissa vain hyvin vähän. Tämä on hyvä asia, sillä tuoreiden lehtivihannesten vesipitoisuuden säilyminen on tärkeää. Alfatokoferolipitoisuus oli suurinta pimeässä säilytetyissä näytteissä ja pienintä loistevalossa.

Mikään käytetyistä materiaaleista ei erottunut ylivoimaisesti edukseen rucolan säilytyksessä, mutta valoa läpäisemättömiin materiaaleihin PET-PE ja OP2CP3 pakatut näytteet säilyivät läpinäkyvien materiaalien näytteitä paremmin. Huonoiten rucolan laadun säilytti referenssi materiaali OP20. Materiaalin valonläpäisevyyden ja laadun lisäksi perforointi vaikutti laadun säilymiseen, sillä perforoidut materiaalit säilyttivät perforoimattomia paremmin näytteen värin, hajun ja alfatokoferolipitoisuuden kaikissa valaistusolosuhteissa. Pimeässä säilytettäessä rucolan alfatokoferolipitoisuudet olivat suurempia perforoimattomiin kuin perforoituihin materiaaleihin pakatuissa näytteissä, kun taas valaistuksessa rucolan alfatokoferolipitoisuudet olivat suurempia perforoituihin materiaaleihin pakatuissa näytteissä.

Kokonaisuutena parhaiten tutkimuksessa käytetyistä valaistusolosuhteista rucolan laadun säilyttämiseen toimi pimeä, jossa erityisesti perforoitu materiaali säilytti rucolan aistinvaraisen laadun parhaiten ja perforoimaton materiaali puolestaan alfatokoferolipitoisuuden. Materiaaleista rucolan laadun säilytti parhaiten perforoitu OP2CP3-materiaali. Kaupassa näytteet on kuitenkin säilytettävä valaistuksessa, mutta pakkausmateriaaliksi voisi harkita osittain peittävää materiaalia, koska valonläpäisevyyden rajoitus pidensi rucolan laadun säilymistä. Säilytettäessä rucolaa valaistuksessa olisi myös parempi käyttää perforoitua materiaalia, koska niissä alfatokoferolipitoisuus oli suurempi kuin käytettäessä perforoimatonta materiaalia.

Tutkimuksen hypoteesi näytteiden nopeammasta pilaantumisesta valaistuksessa toteutui, mutta pilaantuminen ei ollut kuitenkaan huomattavasti nopeampaa perforoiduissa materiaaleissa säilytettäessä, joten perforoinnin optimointi rucolan soluhengityksen mukaan oli onnistunut. Hypoteesi valaistuksen vähäisestä vaikutuksesta vitamiinipitoisuuksiin ei toteutunut, koska valaistusten väliset erot alfatokoferolipitoisuuksissa olivat suuria. Valaistus ei myöskään vähentänyt näytteen vesipitoisuutta ja siten painoa säilytyksen aikana, kuten odotettiin.

Jatkotutkimuksissa voisi kokeilla toisena tutkittavana valaistuksena todella alhaisen intensiteetin valaistusta (esim. $10\text{--}20\ \mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$), koska nyt käytettyjen valaistusten vaikutusten välillä ei havaittu eroa, niiden korkeiden intensiteettien takia. Tämän takia näytteiden happipitoisuus pysyi korkealla nopeuttaen näytteiden pilaantumista. Myös perforointia voisi tutkia lisää, sillä pimeässä säilytettyjen perforoimattomien materiaalien alfatokoferolipitoisuudet olivat niin suuria, että tätä havaintoa tulisi hyödyntää jatkotutkimuksissa. Tarkoituksena oli tutkia myös rucolan C-vitamiinin ja folaatin säilymistä, mutta niitä ei saatu mahdutettua tutkimukseen mukaan, joten jatkotutkimuksissa voitaisiin keskittyä myös näihin vitamiineihin.

LÄHDELUETTELO

Ahvenainen-Rantala R, 2007, Luku 5: Elintarvikkeiden pakkaaminen. Teoksessa: Järvi-Kääriäinen T, Ollila M, toim. Toimiva pakkaus. Hakapaino oy, s 50-59

Bergquist SÅ, Gertsson UE, Nordmark LY, Olsson ME Ascorbic Acid, Carotenoids, and Visual Quality of Baby Spinach as Affected by Shade Netting and Postharvest Storage, *J. Agric. Food Chem.* 2007, 55:8444-8451. <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1021/jf070396z>

Boddie AM, Dedlow ER, Nackashi JA, Opalko FJ, Kauwell GPA, Gregory JF, Bailey LB, Folate absorption in women in a history of neural tube defect-affected pregnancy, *The American Journal of Clinical Nutrition* 2000, 72:154–158. <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1093/ajcn/72.1.154>

Colonna E, Rouphael Y, Barbieri G, De Pascale S. Nutritional quality of ten leafy vegetables harvested at two light intensities, *Food Chemistry* 2016, 199:702–710, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.068>

Fineli. Elintarvikkeiden koostumustietokanta. Terveystietojen ja hyvinvoinnin laitos, Ravitsemusyksikkö, Helsinki 2017. Saatavilla: www.fineli.fi

Food Standards Australia New Zealand, Australian food composition database, Rocket, raw, Saatavilla: www.foodstandards.gov Viitattu: 30.4.2020

Galgano F, Caruso MC, Ventura NM, Magno C, Favati F, Effects of Anti-UV Film and Protective Atmosphere on Fresh-cut Iceberg Lettuce Preservation, *Acta Alimentaria* 2017, 46:35-42, doi: 10.1556/066.2017.46.1.5

Glowacz M, Mogren LM, Reade JPH, Cobb AH, Monaghan JM., High-but not low-intensity light leads to oxidative stress and quality loss of cold-stored baby leaf spinach 2014, *JSciFoodAgric* 2015; 95:1821–1829, <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1002/jsfa.6880>

Gutierrez DG, Char C, Escalona VH, Chaves AR, Rodriguez SC, Application of UV-C radiation in the conservation of minimally processed rocket (*eruca sativa* mill.), 2015, 39: 3117–3127 *Journal of Food Processing and Preservation*, doi:10.1111/jfpp.12577

Jin P, Yao D, Xu F, Wang H, Zheng Y. Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets, *Food Chemistry* 2015, 172:705–709, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.134>

Kushi LH, Folsom AR, Prineas RJ, Mink, PJ, Wu Y, Bostick RM. Dietary antioxidant vitamins and death from coronary heart disease in postmenopausal women. *New Engl. J. Med.* 1996, 334:1156-1162, doi: 10.1056/NEJM199605023341803

Kuusipalo J, Ollila M, Helen H, 2007, Luku 13: Pakkauksen läpäisevyydestä. Teoksessa: Järvi-Kääriäinen T, Ollila M, toim. Toimiva pakkaus. Hakapaino oy, s 117-127

Lee J-S ja Chandra D, Effects of different packaging materials and methods on the physical, biochemical and sensory qualities of lettuce, *J Food Sci Technol* 2018, 55:1685-1694. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3081-6>

Lennersten MS, The Influence of Light and Packaging Materials on Oxidative Deterioration in Foods, A literature review, SIK-report. Göteborg: Göteborgs Universitet 1995. 54 s.

Leppänen-Turkula A, Ollila M, Järvi-Kääriäinen T, 2007, Luku 1: Pakkaus. Teoksessa: Järvi-Kääriäinen T, Ollila M, toim. Toimiva pakkaus. Hakapaino oy, s 9-12

Lester GE, Makus DJ, Hodges DM. Relationship between Fresh-Packaged Spinach Leaves Exposed to Continuous Light or Dark and Bioactive Contents: Effects of Cultivar, Leaf Size, and Storage Duration, *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58:2980–2987. <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1021/jf903596v>

Martinez-Sanchez A, Llorach R, Gil MI, Ferreres F. Identification of New Flavonoid Glycosides and Flavonoid Profiles To Characterize Rocket Leafy Salads (*Eruca vesicaria* and *Diplotaxis tenuifolia*), *J. Agric. Food Chem.* 2007, 55:1356–1363. <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1021/jf063474b>

Martinez-Sanchez A, Tudela JA, Luna C, Allende A, Gil MI. Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce, *Postharvest Biology and Technology* 2011, 59:34–42. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.07.005>

Mokrzycki WS, Tatol M, Colour difference ΔE A survey, *Machine Graphics and Vision*, 2011, 20(4):383–411

Nielsen T, Bergström B, Borch E. The origin of off-odours in packaged rucola (*Eruca sativa*), *Food Chemistry* 2008, 110:96–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.063>

Noichinda S, Bodhipadma K, Mahamontri C, Narongruk T, Ketsa S. Light during storage prevents loss of ascorbic acid, and increases glucose and fructose levels in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*), *Postharvest Biology and Technology* 2006, 44:312–315, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.006>

Nordic Council of Ministers, Nordic Nutrition Recommendations; Integrating nutrition and physical activity 2012, 5. painos, s 629, Viitattu: 24.9.2019

Ohashi-Kaneko K, Takase M, Kon N, Fujiwara K, Kurata K. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environment Control in Biology* 2007, 45:189–198. <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.2525/ecb.45.189>

Olarte C, Sanz S, Echvarri JF, Ayala F, Effect of plastic permeability and exposure to light during storage on the quality of minimally processed broccoli and cauliflower, *Food science and Technology* 2010. 42:402–411 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.001>

Saltveit ME, A summary of CA and MA requirements and recommendations for harvested vegetables. Teoksessa: Proceedings of the 7th International controlled atmosphere research conference, Vol. 4. Vegetables and ornamentals, 1997, University of California, Davis, pp 98–117

Samuoliene G, Sirtautas R, Brazaityte A, Duchovskis P. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce, *Food Chem.* 2012, 134:1494–1499. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.061>

Siikanen S, Hiltunen Y, Kauppinen T, Kivi S, Möttönen VJ, Nissinen K, Kaarre M, Teppola P, Juuti M, 2012 Energiatohkeus teollisuusprosesseissa ja rakennusten energiankulutuksessa, TEKES-tutkimuksen loppuraportti 2012, VTT-R-08818-11

Stephens NG, Parsons A, Brown MJ, Schofield PM, Kelly F, Cheeseman K, Mitchinson MJ. Randomised controlled trial of vitamin E in patients with coronary disease: Cambridge heart antioxidant study (CHAOS). *The Lancet* 1996, 347:781–786. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)90866-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)90866-1)

Toledo MEA, Ueda Y, Imahori Y, Ayaki M. L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark, *Postharvest Biology and Technology* 2003, 28:47–57. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00121-7)

U.S.Department of agriculture, FoodData Central, Arugula, raw, Saatavilla: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169387/nutrients>, Viitattu 23.4.2020

Valtion ravitsemusneuvottelukunta, Suomalaiset ravitsemussuosituksset 2014, 5. painos. 2018. s 51, Viitattu: 15.9.2019

Welch AJ, Gardner C, Richards-kortum R, Chan E, Criswell G, Pfefer J ja Warren S, Propagation of Fluorescent Light, Lasers in Surgery and Medicine 1997, 21:166–178, [https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1002/\(SICI\)1096-9101\(1997\)21:2<166::AID-LSM8>3.0.CO;2-O](https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1002/(SICI)1096-9101(1997)21:2<166::AID-LSM8>3.0.CO;2-O)

Zhan L, Hu J, Ai Z, Pang L, Li Y, Zhu M. Light exposure during storage preserving soluble sugar and L-ascorbic acid content of minimally processed romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.var. *longifolia*), *Food Chemistry* 2013. 136:273–278. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.123>

LIITTEET

Liite 1. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin yhdysvaikutuksen p-arvot näytteiden painon muutoksissa materiaalien välillä kaikissa valaistuksissa perforoiduissa ja perforoimattomissa materiaaleissa.

Valotus	Materiaalit	p-arvo	
		Perforoimaton	Perforoitu
LED	OP20/OP233	0,000*	0,049*
	OP20/PET14	0,847	0,847
	OP20/PET-PE	0,312	0,543
	OP20/OP2CP3	0,856	0,000*
	OP23/PET14	0,000*	0,075*
	OP23/PET-PE	0,001*	0,168
	OP23/OP2CP3	0,000*	0,000*
	PET14/PET-PE	0,413	0,677
	PET14/OP2CP3	0,991	0,000*
	PET-PE/OP2CP3	0,406	0,000*
Loiste	OP20/OP233	0,520	0,900
	OP20/PET14	0,361	0,673
	OP20/PET-PE	0,230	0,422
	OP20/OP2CP3	0,358	0,184
	OP23/PET14	0,786	0,584
	OP23/PET-PE	0,574	0,354
	OP23/OP2CP3	0,781	0,146
	PET14/PET-PE	0,771	0,702
	PET14/OP2CP3	0,995	0,361
	PET-PE/OP2CP3	0,776	0,593
Pimeä	OP20/OP233	0,953	0,940
	OP20/PET14	0,591	0,481
	OP20/PET-PE	0,914	0,518
	OP20/OP2CP3	0,809	0,507
	OP23/PET14	0,551	0,435
	OP23/PET-PE	0,961	0,471
	OP23/OP2CP3	0,855	0,557
	PET14/PET-PE	0,520	0,953
	PET14/OP2CP3	0,437	0,174
	PET-PE/OP2CP3	0,893	0,193

*=tilastollisesti merkitsevät ero ($p < 0,05$)

Liite 2. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden seitsemännen mittauspäivän värierojen (ΔE) yhdensuuntaisen varianssianalyysin tulokset valaistusten välillä.

Valaistukset	p-arvo
LED/pimeä	0,007*
LED/loiste	0,206
Loiste/pimeä	0,00132*

*=tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$)

Liite 3. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden seitsemännen mittauspäivän värieröjen (ΔE) yhdensuuntaisen varianssianalyysin tulokset materiaalien välillä.

Materiaalit		p-arvo
OP20	OP233	0,801
	PET14	0,511
	PET-PE	0,051
	OP2CP3	0,020*
OP233	PET14	0,364
	PET-PE	0,028*
	OP2CP3	0,011*
PET14	PET-PE	0,187
	OP2-CP3	0,090
PET-PE	OP2CP3	0,698

*=tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$)

Liite 4. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden seitsemännen mittauspäivän värierojen (ΔE) kaksisuuntaisen varianssianalyysin tulokset, materiaalin ja valaistuksen yhdysvaikutus.

Materiaalit	p-arvo / pimeä	p-arvo / loiste	p-arvo / LED
OP20/OP233	0,641	0,019 *	0,002 *
OP20/PET14	0,965	0,714	0,466
OP20/OP2CP3	0,928	0,005 *	0,582
OP20/PET-PE	0,760	0,012 *	0,206
OP233/PET14	0,672	0,045 *	0,000146 *
OP233/OP2CP3	0,577	0,599	0,000022 *
OP233/PET-PE	0,871	0,857	0,000265 *
PET14/OP2CP3	0,894	0,012 *	0,589
PET14/PET-PE	0,793	0,030 *	0,857
OP2CP3/PET-PE	0,692	0,729	0,471

*=tilastollisesti merkitsevä ero ($p < 0,05$)

Liite 5. Perforoiduissa ja perforoimattomissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden alfatokoferolipitoisuuden merkitsevät erot valaistusten välillä.

Valaistus	p-arvo, perforoidut materiaalit	p-arvo, perforoimattomat materiaalit
Loiste/LED	0,528	0,006*
Loiste/pimeä	0,012*	0,0000000005113*
LED/pimeä	0,126	0,0000000005113*

*=merkitsevä ero ($p < 0,05$)

Liite 6. Perforoiduissa materiaaleissa säilytettyjen näytteiden kaksisuuntaisen varianssianalyysin yhdysvaikutuksen p-arvot valaistuksien ja materiaalien välillä.

Materiaali	Valaistus	p-arvo
OP20	Loiste/LED	0,037 *
	Loiste/pimeä	0,305
	Pimeä/LED	0,240
OP233	Loiste/LED	0,000053 *
	Loiste/pimeä	0,000004 *
	Pimeä/LED	0,147
PET14	Loiste/LED	0,066
	Loiste/pimeä	0,001 *
	Pimeä/LED	0,079
OP2CP3	Loiste/LED	0,00033 *
	Loiste/pimeä	8,7724e ⁻⁹ *
	Pimeä/LED	7,69e ⁻¹¹ *
PET-PE	Loiste/LED	2,3961e ⁻⁷ *
	Loiste/pimeä	1,1743e ⁻⁹ *
	Pimeä/LED	0,001 *

*=tilastollisesti merkitsevät ero ($p < 0,05$)

Liite 7. Näytteiden (päivä 7) analysoidut alfatokoferolipitoisuudet (µm/g) kuivapainoa kohden.

Materiaali	Valotus	Alfatokoferoli (µm/g)
OP2		
Perforoitu	Pimeä	184,1605
	Loistevalo	180,9505
	LED-valo	187,8625
Perforoimaton	Pimeä	274,4015
	Loistevalo	144,5155
	LED-valo	177,09
OP233		
Perforoitu	Pimeä	186,8685
	Loistevalo	165,3895
	LED-valo	182,244
Perforoimaton	Pimeä	173,853
	Loistevalo	138,474
	LED-valo	289,9625
PET14		
Perforoitu	Pimeä	169,9655
	Loistevalo	181,681
	LED-valo	175,674
Perforoimaton	Pimeä	245,8975
	Loistevalo	147,846
	LED-valo	176,8055
PET-PE		
Perforoitu	Pimeä	205,772
	Loistevalo	165,8925
	LED-valo	192,679
Perforoimaton	Pimeä	296,6715
	Loistevalo	116,2835
	LED-valo	136,3935
OP2CP3		
Perforoitu	Pimeä	201,746
	Loistevalo	167,3055
	LED-valo	153,3335
Perforoimaton	Pimeä	284,717
	Loistevalo	151,6305
	LED-valo	159,0045